



Ingeniantes

Año 8, No.1, Vol.1

Revista de Investigación . Instituto Tecnológico Superior de Misantla

latindex

ISSN 2395-9452

2021



Tierra, Energía, Biológicos, Bioquímica,
Medio Ambiente, Gestión Educativa,
Mecánica de Materiales,
Ciencias de la Computación,
Calidad y Sistemas de Manufactura

Ingeniantes

Año 8 / No. 1 / Vol. 1

Información Legal

Ingeniantes, año 8, No. 1, Vol 1. Diciembre 2020 - Mayo 2021 es una publicación semestral editada y publicada por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Km. 1.8 carretera a Loma del Cojolite, col. Centro, Misantla, Veracruz. México, C.P. 93821, teléfono 01 (235) 323 60 18, página web citt.itsm.edu.mx. Editor responsable: Lic. Jorge Obdulio Gerón borjas, Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2015-062512501200-203, ISSN 2395-9452, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Centro de Innovación & Transferencia de Tecnología del ITSM, Lic. Jorge Obdulio Gerón Borjas, Km. 1.8 carretera a Loma del Cojolite, Col. Centro, Misantla, Veracruz. México, C.P. 93821, fecha de última modificación, 15 de junio de 2021.

Actualmente indexada en la base de datos del Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal LATINDEX, con número de registro 25671.

Se autoriza cualquier reproducción parcial de los contenidos o imágenes de la publicación siempre y cuando sea sin fines de lucro y para usos estrictamente académicos, citando invariablemente la fuente dando los créditos a los autores del artículo.

El contenido de los artículos publicados es responsabilidad de los autores y no representa el punto de vista del editor de la revista Ingeniantes.

The logo for LATINDEX features the word "latindex" in a stylized, lowercase serif font. The letters are primarily a dark red color. The letter 'i' is distinct, with a vertical stem in orange and a circular dot in yellow. The letters 'l', 'n', 'd', and 'x' have thin horizontal lines extending from their bases, giving the logo a modern, architectural feel.

junio 2021

Directorio

Dr. Daniel Villanueva Vásquez

Director General, ITSM, Veracruz, México

Dr. Hugo Romero Montoya

Director Académico, ITSM, Veracruz, México

M.E. Josefa Vásquez Trujillo

Subdirectora Académica, ITSM, Veracruz, México

Dr. Daniel Martínez Navarrete

Subdirector de Posgrado, ITSM, Veracruz, México

L.C. Carlos Landero Hernández

Subdirector de Servicios Administrativos, ITSM, Veracruz, México

Dr. José Edgar Soto Meneses

Director de Planeación y Vinculación, ITSM, Veracruz, México

M.S.C. Irahan Otoniel José Guzmán

Subdirector de Planeación, ITSM, Veracruz, México

L.I. Lidia Herrera Domínguez

Subdirectora de Vinculación, ITSM, Veracruz, México

Cuerpo Editorial

Editor General

Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Editor

Lic. Jorge Obdulio Gerón Borjas

Coeditor

Lic. Erik Balderas González

Administración

Ing. Mayra Lizeth Méndez Oloarte

Propiedad Intelectual

Centro de Innovación & Transferencia de Tecnología

Lic. Jorge Obdulio Gerón Borjas

Sistemas

Administrador de Sistemas

M.S.C. Fernando Alberto Hernández Guevara

Webmaster

L.I. Ana Marcela Gutiérrez Romero

Distribución

Publicación electrónica disponible en

ciff.itsm.edu.mx/ingeniantes

Correo electrónico:

revista.ingeniantes@itsm.edu.mx

<http://www.latindex.org/latindex/ficha?folio=25671>

Comité de Revisión

Dr. Luis Eduardo Velázquez Contreras, US SNI

Dr. Luis Alberto Morales Rosales, UMSNH SNI

Dr. Marco Tulio Gallo Estrada, UACH SNI

Dr. Jesús P. Xamán Villaseñor, CENIDET SNI

Dr. Abel García Barrientos, UASLP SNI

Dr. David Lara Alabazares, ITSM SNI

Dr. Gregorio Fernández Lambert, ITSM SNI

Dra. Susana López Cuenca, ITSDZ SNI

Dr. Javier Esquer Peralta, UNISON SNI

Dr. Noé Alejandro Castro Sánchez, CENIDET SNI

Dr. José Jasson Flores Prieto, CENIDET SNI

Dr. Adolfo Preciado Quiroz, ITSDZ SNI

Dr. José Luis Marín Muñiz, CV SNI

Dr. Julio César Chacón Hernández, UAT SNI

Dr. Eddy Sánchez de la Cruz, ITSM SNI

Dra. María Cristina López Méndez, ITSM SNI

Dr. Luis Carlos Sandoval Herazo, ITSM SNI

Dr. José de Jesús Ibarra Montalvo, ITSDZ SNI

Dr. Andrés Blanco Ortega, CENIDET SNI

Dr. Juan Carlos González Hernández, ITM SNI

Dra. Laura Ruelas Monjardín, UV SNI

Dr. Heriberto Esteban Benito, ITSNA SNI

Dr. Sergio Aurelio Zamora Castro, UV SNI

Dra. Blanca Dina Valenzuela Robles, CENIDET SNI

Dr. Jesús Álvarez Cedillo, IPN SNI

Dr. Francisco Reyes Zepeda, IEA-UAT SNI

Dr. Javier Esquer Peralta, UNISON SNI

Dr. Luis Mejía Macario, ITSM C. SNI

Dr. Sergio Fabian Ruiz Paz, UNPA

Dr. Arturo Pacheco Espejel, IPN

Dr. Cuauhtémoc Guerrero Dávalos, UMSNH

Dra. María Victoria Carreras Cruz, UP

Dr. Alfredo Alberto Morales Tapia, UV

Dr. Ramón Álvarez López, UDG

Dr. Gustavo Martínez Castellanos, ITSM

Dr. Arturo Cabrera Hernández, ITSM

Dr. Roberto Ángel Meléndez Armenta, ITSM

Dr. Isidro Rodríguez Montoro, ITSM

Dr. Saúl Santiago Cruz, ITSM

Dra. Alicia Martínez Rebollar, CENIDET

M.I. Fernando Jurado Pérez, ITESI

M.C. Clovis Nchikou, ITNL

M.I.I. Aarón Montiel Rosales, ITSPR

M.I.I. Nayeli Montalvo Romero, ITSPR

M.I.I. Gema del Carmen Jiménez Gómez, ITSAV

M.I.I. Leonardo Martínez Lara, ITSAV

M.SI. Ana Lilia Sosa y Durán, ITSM

M.I.A. Luis Enrique García Santamaría, ITSM

M.S.C. Irahan Otoniel José Guzmán, ITSM

M.S.C. Arnulfo Gamaliel Hernández González, ITSM

M.I.M. Jorge Roa Díaz, ITSM

M.C. Vladimir Zagoya Juárez, ITSM

M.C. Alan Rico Barragán, ITSM

M.G.C. Eduardo Gutierrez Almaraz, ITSM

M.I.I. Giovanni Luna Chontal, ITSM

Ingeniantes



03



10



19



26



35

Reducción de la variabilidad en el proceso de fabricación de pastillas de dulce _____ 03
Elizabeth Guadalupe Santos Chapa; María de los Ángeles Ramírez Ambriz; Ulises Martínez Contreras; Mirella Parada González, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

Sistema de inventario ABC en producto terminado en Compañía Industrial de Tepeji del Río _____ 10
Sergio Serrano González; María Guadalupe Santillan Valdelamar; Francelin Dimas Díaz, Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo; Tonatihu Mauricio Meneses Márquez; Yuridia González Hernández, Instituto Tecnológico Superior de Huichapan

Aplicación de un estudio de tiempos y simulación al proceso de termoformado para aumentar su productividad _____ 19
Javier Mondragón Sánchez; Aparicio Urbano Jose; Marlenne Cruz Romero, Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán; Hugo Alberto Bravo Quintero, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán

Implementación de metodología 8D's en la empresa Qaltum Nafta S.A de C.V. _____ 26
Nelly Ana Laura Jiménez Zúñiga; Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo; Sergio Serrano González, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo; Edgar Sarabia Lugo; Elizabeth Vázquez Estefes, Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo

Efecto de las bajas temperaturas en la germinación in vitro de Bromelia (Tillandsia bourgaei) _____ 35
Yesenia Keymi Mejía Santiago; Elizabeth Kenia Mejía Santiago; Fernando Isael Alvear Salazar; Carlos Arturo Loyola Torres, Universidad Tecnológica del Sur del Estado de Morelos

Contenido



43



51



60



68



77

Evaluation of an automatic tomato plant pollinator in a field assessment _____ 44

Teresa Barrera Galván; Ulises Bañuelos Amezcua; Ramiro Rodríguez Mendoza, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior Mario Molina Pásquel y Henríquez, Unidad Académica Tamazula; Edén Ocegüera Contreras, Centro Universitario de los Valles, Universidad de Guadalajara

Análisis numérico del mecanismo de una trituradora de PET mediante el método de elementos finitos _____ 51

Miguel Alberto Domínguez Gurría; Ulises Augusto Jaen Rendón, Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Angelo Garibaldi Rodríguez, Centro de Enseñanza Técnica y Superior; Vladimir Zagoya Juárez, Tecnológico Nacional de México / Campus Misantla

Tratamiento de agua residual de beneficio de café mediante un biofiltro de bajo costo _ 60

Iriana Hernández Martínez; Cristian Aldair Santiago Segura; Raúl Alejandro Limón Hernández; Verónica López Hernández; Fidel Alejandro Aguilar Aguilar, Universidad Tecnológica de Gutiérrez Zamora

Uso de herramienta SIATL, DENU e insumos de INEGI en la simulación de inundaciones en la cuenca baja del Rio Misantla, Veracruz, México. _____ 68

Humberto Raymundo Gonzalez Moreno; Jorge Cruz Salazar; Isane Ruano Mora; Raúl Camilo Vélez Mujica; Modesto Sánchez Diaz, Tecnológico Nacional de México / Campus Misantla

Sistema informático para el seguimiento y control del mantenimiento de infraestructura y equipo _____ 77

Rogelio Ramírez Silva; Francisco Javier Gutiérrez Mata; Alma Delia de Jesús Islao; Eloy Cadena Mendoza, Tecnológico Nacional de México / IT de Acapulco



Calidad

y

Sistemas de Manufactura

Ingeniantes

Reducción de la variabilidad en el proceso de fabricación de pastillas de dulce



Colaboración

Elizabeth Guadalupe Santos Chapa; María de los Ángeles Ramírez Ambriz; Ulises Martínez Contreras; Mirella Parada González, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

Fecha de recepción: 22 de enero del 2021

Fecha de aceptación: 27 de abril del 2021

RESUMEN: El presente trabajo se realizó dentro de la industria alimenticia, la cual debe cumplir con estrictas normas de salubridad, el proceso de fabricación de pastillas de dulce se realiza en líneas de producción continua y en la mayoría de estos casos son procesos automatizados.

El desperdicio de producto terminado y materias primas, tiempo muerto, variación en los estándares de producción, y los problemas de calidad, ocasionan la devolución completa de lotes completos de producción al fabricante, esto tiene un impacto financiero para las empresas [1].

Este estudio se centra en la variación de tamaño de las pastillas de caramelo la cual provocaba problemas en el área de empaquetado por lo que se consideró el uso de herramientas de calidad y estadística a través de la metodología de Seis Sigma y el Control Estadístico del Proceso para reducir la variación en el tamaño del dulce.

PALABRAS CLAVE: Control estadístico de procesos, fabricación de dulce, pastillas de dulce, Seis Sigma, MSA.

ABSTRACT: This case study was conducted on the food industry, which must comply with strict health standards, the hard candy manufacturing process is executed on continuous production lines, and in most of these cases, they are automated processes.

Scrap on finish goods, raw materials, process downtime, process variation, and quality defects, cause the complete return of complete production orders to the manufacturer, this has a financial impact for companies.

This study focused on the variation of the size of the hard candy, which caused problems in the packaging area, so the use of quality tools and statistics were considered by the methodology of Six Sigma and Statistical Control Process to reduce variation in candy size.

KEYWORDS: SPC, DMAIC, Seis Sigma, Candy fabrication, MSA.

INTRODUCCIÓN

La confitería es una de las ramas de la industria alimenticia y dentro de ésta se ubica el proceso de fabricación de pastillas de dulce el cual nos ocupa en este proyecto. Para esta industria aplican diferentes normas que competen a la calidad e inocuidad de los alimentos, en este caso en particular se apega a la normatividad de Estados Unidos (país de destino del producto) a través de la Administración de Medicamentos y Alimentos (FDA, por sus siglas en inglés, Food and Drug Administration) [2] y la certificación de Seguridad y Calidad de los Alimentos (SQF, por sus siglas en inglés, Safe Quality Food) [3]. En nuestro país, la secretaría de salud, a través la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) se encarga de vigilar el cumplimiento de los requerimientos de inocuidad y calidad alimentaria y de manera internacional se busca cumplir con la certificación de ISO 22000 (ISO, por sus siglas en inglés, International Organization for Standardization) [4].

El proceso de producción de pastillas dulce de caramelo macizo consta de varios subprocesos que a continuación se describe.

1. Preparación de Jarabe
2. Amasado
3. Preformado
4. Formado
5. Enfriamiento
6. Empaque

El área de preformado y formado es el centro de este estudio en el cual se controla la forma y dimensión del dulce. dentro de la forma y dimensiones, el espesor del dulce es un parámetro crítico que forma parte del esquema de monitoreo de calidad, esta característica presentaba variación que afectaba de manera directa a la siguiente etapa de procesamiento, el empaquetado.

Las especificaciones del dulce son, diámetro 10 mm, espesor de 6.30 mm con una tolerancia de 6.15 a 6.46 mm como se muestra en la figura 1. El espesor del dulce se logra haciendo ajustes manuales a la maquinaria de formado, ya sea abriendo o cerrando discos (figura 2) hasta encontrar la combinación entre velocidad y abertura, que permita tener un espesor de cuerda y temperatura de dulce adecuados para después llenar las cavidades de los dados en la prensa de formado de dulce.



Figura 2. Discos de formado de cuerda de dulce

De acuerdo con el historial durante el 2018 se registró hasta un 13.6% de desperdicio en la etapa de cocina relacionado con la variación del espesor de las pastillas de dulce, como se muestra en la gráfica de desperdicio de cocina figura 3.



Figura 3. Porcentaje de desperdicio de cocina (reporte de producción, 2018)

En la etapa de empaque durante la temporada alta de producción, se registró hasta un 18 % de desperdicio relacionado con producto que excedió las dimensiones en el empaquetado, como lo muestra la gráfica de desperdicio de empaque figura 4.

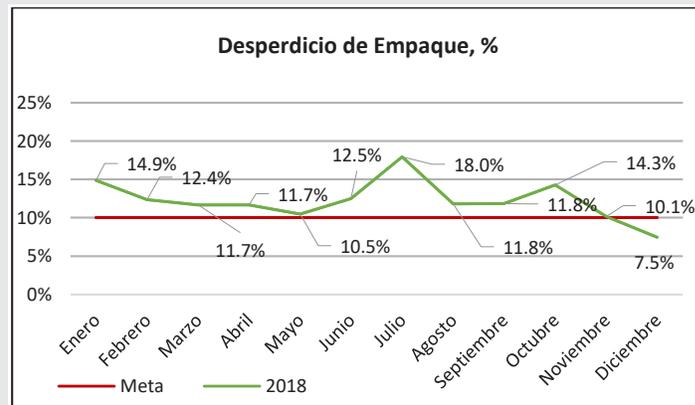


Figura 4. Porcentaje de desperdicio de empaque (reporte de producción, 2018)

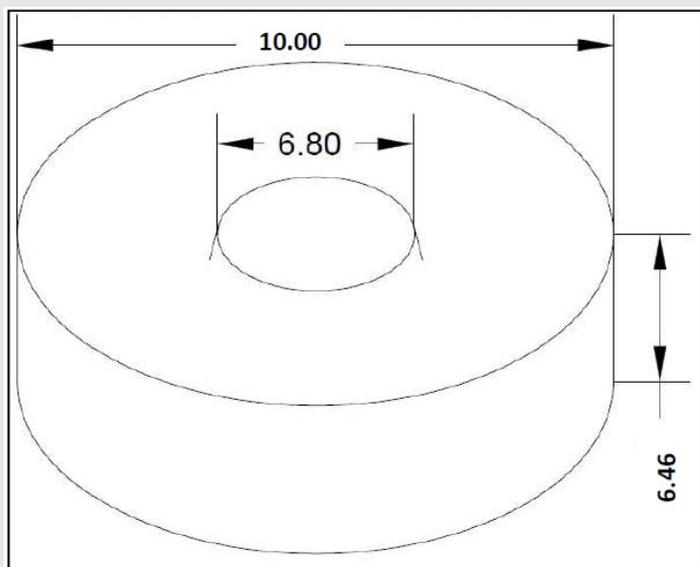


Figura 1. Pastilla de Dulce y sus Dimensiones

Ya que los ajustes de la maquinaria y equipo dependen totalmente de la pericia del operador, no se contaba con el monitoreo de parámetros del proceso, ni las herramientas adecuadas para medir el espesor, además se desconocían los factores que originaban la variación, por lo tanto, se perdía la oportunidad de hacer los ajustes en el momento, provocando con esto desperdicio al no cumplir con las especificaciones de empaque.

MATERIAL Y MÉTODOS

Seis Sigma es un programa que se implementa en una compañía con el objetivo principal de mejorar los procesos y por ende la calidad de los productos obteniendo con esto la satisfacción del cliente y la reducción de los costos de procesamiento. Seis Sigma fue desarrollado por Motorola en los años 80 con el objetivo principal de reducir los defectos en las líneas de producción y el incremento la calidad de sus productos lo cual significo mayor satisfacción del cliente. Una vez que Motorola ganó el premio Malcolm Baldrige [5] el programa Seis Sigma se popularizo y fue adoptado por grandes compañías en los años 90 como General Electric, Allied Signal y Honeywell [6].

Existen varias metodologías principalmente usadas en Seis Sigma que atienden a diferentes situaciones [7] por ejemplo, Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar (DMAIC, por sus siglas en inglés, Define, Measure, Analyze, Improve, Control), es utilizada cuando se quiere reducir la variación y/o defectos en el proceso; Definir, Medir, Analizar, Diseñar y Verificar (DMADV, por sus siglas en inglés, Define Measure, Analyze, Design and Verify), es utilizada en las etapas de planeación de un producto, proceso o servicio; de igual forma la metodología de Mejora Continua es utilizada cuando se requiere reducir el tiempo de ciclo y desperdicios [8].

Los materiales y métodos utilizados en la solución del problema de variación en el espesor de las pastillas de dulce; en el apartado de la metodología se consideró el uso de Seis Sigma, a través de DMAIC, así como el Control Estadístico del Proceso (SPC), entre otras herramientas de calidad para la mejora de procesos.

El material requerido para el desarrollo de esta investigación consistió en el uso de pastillas de dulce para rollos, para la medición de las pastillas de dulce se utilizó un micrómetro electrónico digital de la marca Starret con un rango de 2.54 cm. y una resolución de 0.001 mm; Para el procesamiento estadístico de los datos se hizo uso del "software" Minitab 17.1°

Definir

Durante el 2018 se detectó que el porcentaje de desperdicio estaba fuera de lo permitido esto de acuerdo con la meta estipulada en el sistema para el consumo de materiales. En el proceso de cocina se detectó hasta un 13.6 % de desperdicio siendo un 8% lo cuantificado en costos en esta etapa, y en el proceso de empaquetado se detectó hasta un 18 %, siendo un 10% lo cuantificado en costos para esta etapa.

La definición del problema se hizo a través del diagrama de árbol de requerimientos del cliente (figura 5), en el cual se resaltó que una de las características de calidad a evaluar son las dimensiones del dulce, al ser esta una cualidad tanto estética como de desempeño en el producto.

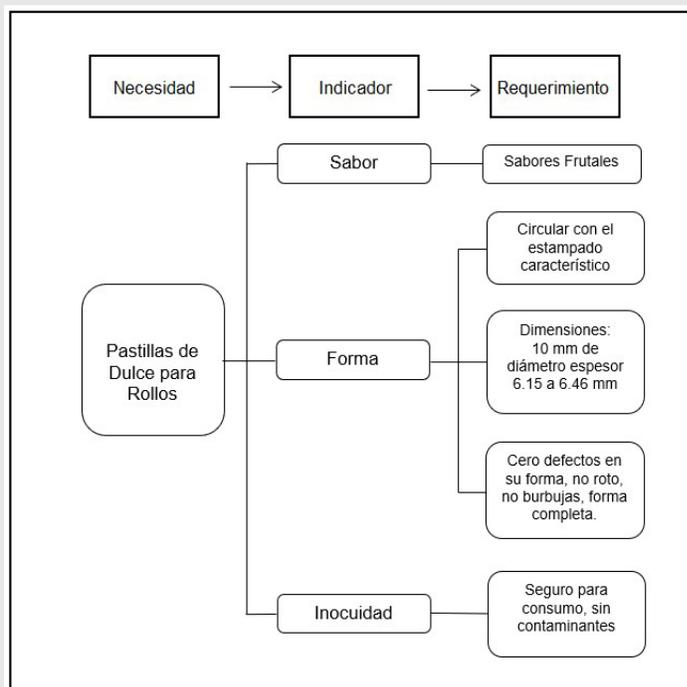


Figura 5. Diagrama de árbol de requerimientos del cliente

Para establecer la ubicación de la característica de calidad de las pastillas de dulce dentro del sistema del proceso de fabricación, se generó el diagrama de Proveedores, Entradas, Procesos, Salidas y Clientes (SIPOC, por sus siglas en inglés, Suppliers, Inputs, Process, Outputs, and Customers), en el cual se resaltó el proceso de producción de pastillas de dulce para rollos como punto medular para analizar el comportamiento de la dimensión del espesor de pastillas de dulce.

Posteriormente se trabajó en la descripción del proceso a través del diagrama de flujo del proceso de fabricación del dulce, con el que se detalló cada etapa a fin de que se tomaran en cuenta durante el análisis de la causa raíz.

Medir

La medición del espesor de las pastillas de dulce se hizo a través de un instrumento para la medición de tamaño, en este caso el micrómetro, con resolución de centésimas de acuerdo con las especificaciones que debe cumplir el dulce. Para la validación del sistema de medición se llevó a cabo un Análisis de Reproducibilidad y Repetibilidad (Gage R&R, por sus siglas en inglés, Gage Repeatability and Reproducibility), el cual se realizó utilizando Minitab 17, esta herramienta proporcionó un análisis gráfico en el cual se observó que existe variación significativa en las mediciones entre las piezas y variación entre los operadores.

Analizar

El análisis fue realizado para encontrar la causa (s) raíz del problema a través de la técnica de 5 Por Qué, con

la premisa de un incremento en el porcentaje de desperdicio, tanto en empaquetado como cocina, se llevó con la participación de los departamentos como producción, mantenimiento y calidad.

Mejorar

Para analizar la causa raíz de la variación en el espesor de las pastillas de dulce se desarrolló el diagrama de causa y efecto para para el cual se contó con la participación de personal de experiencia en el proceso, de las diferentes disciplinas, calidad, mantenimiento y producción.

Controlar

En la fase de control se consideraron críticas las actividades en las que se necesitaba monitorear los parámetros del proceso, así como la calibración del sorteador, además en este apartado se consideró también la implementación del control estadístico del proceso para el espesor de las pastillas de dulce.

RESULTADOS

Tras utilizar la metodología DMAIC los resultados fueron los siguientes:

Define

se generó el diagrama SIPOC en el cual se identificaron los procesos, clientes y proveedores, después se continuo con el diagrama de flujo de proceso.

Medir

Del reporte analítico se detectó que el porcentaje de contribución del sistema total de "Gage R&R", fue de 16.14% > 1% por lo tanto se concluyó que el sistema de medición no es aceptable y necesitaba ser mejorado.

Se obtuvo la información histórica de las mediciones del espesor de pastillas de dulce de los meses de enero, marzo, junio y septiembre del 2018, se obtuvieron los índices de capacidad $C_p=0.51$, $C_{pk}=0.33$ mismos que son < 1.33, con estos datos se determinó que el proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones indicadas.

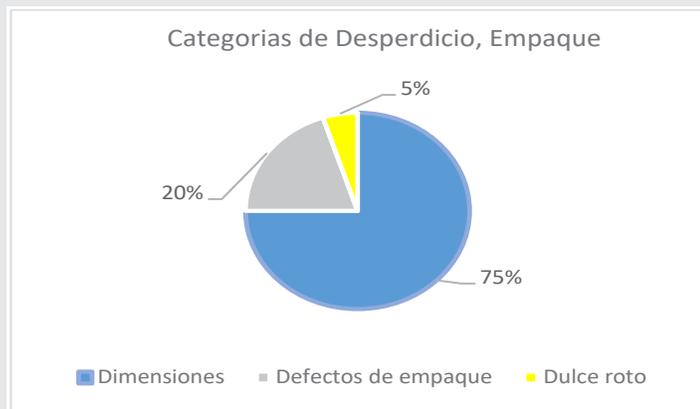


Figura 6. Defectos de empaque

Analizar

Del área de empaquetado a través de la técnica de 5 Por Qué, se encontró que el desperdicio se debe a dulce roto, dulce fuera de dimensiones y otros defectos de materiales de empaque, para lo cual se midió la cantidad de desperdicio de acuerdo con las categorías descritas y se encontró lo siguiente: del total del desperdicio de empaquetado un 75% corresponde a rollos de dulce que exceden las dimensiones para su empaquetado (figura 6).

Del área de cocina a través de la técnica de 5 Por Qué, se encontró que el desperdicio se debe a pastillas que presentan variación en la dimensión del espesor, dulce que cae al piso, la masa esta cruda, la masa se enfría y otro tipo de defectos como burbujas, variación de color y deformidades, para lo cual se midió la cantidad de desperdicio de acuerdo a las categorías descritas y se encontró lo siguiente: del total del desperdicio de cocina, el 80% corresponde a pastillas que presentan variación en el espesor (figura 7).

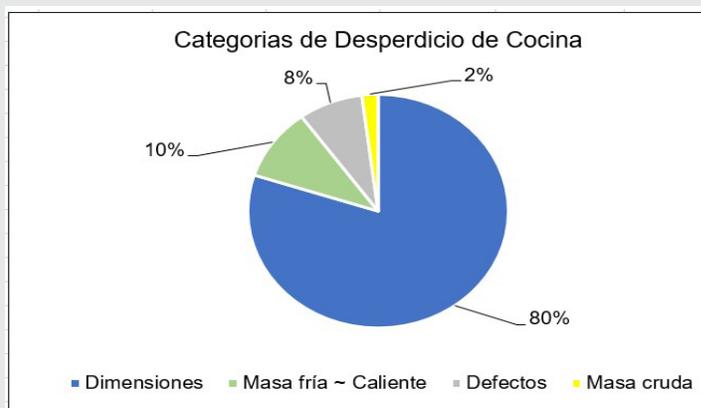


Figura 7. Defectos de cocina

Con los datos ya descritos se concluyó que era necesario hacer un análisis de causa raíz de la variación del espesor de las pastillas de dulce para rollos en el área de cocina que es en donde el proceso de fabricación de pastillas de dulce se lleva a cabo.

Mejorar

Del diagrama de causa y efecto y del factor de la maquinaria, se seleccionó la causa desgaste de la prensa y desgaste de los dados de formado respectivamente, estas causas obtuvieron una puntuación mayor en la ponderación como las causas principales que estaban ocasionando variación en el espesor de las pastillas de dulce. El departamento de mantenimiento después de una revisión de dimensiones con base a especificaciones de la maquinaria determinó que era necesaria su reparación en las partes principales que son barril, guías y dados (figura 8).

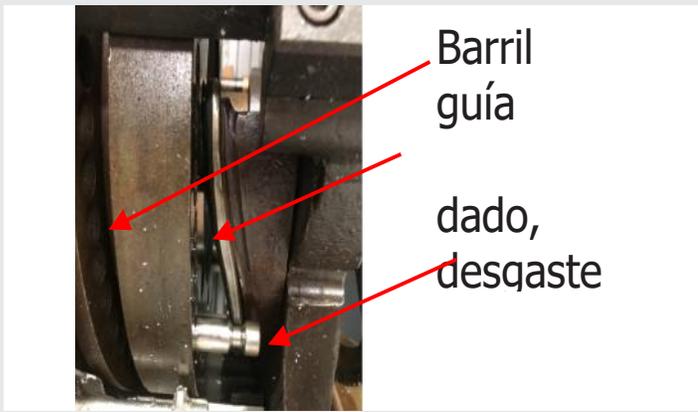


Figura 8. Partes reparadas de la prensa

Posterior a la reparación de las prensas se obtuvo una capacidad del proceso de Cpk 0.98 (figura 9)

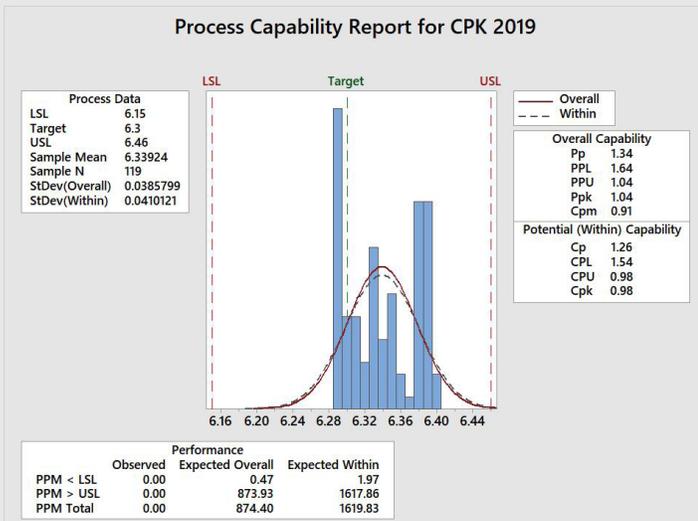


Figura 9. Capacidad del proceso después de las mejoras en las prensas

Esto de acuerdo a la información recabada en los datos de las gráficas de control y haciendo referencia al resultado del 2018 se hace la comparación de los resultados en la tabla 1.

Tabla 1. Comparación de resultados, 2018 y 2019

Año	Índice Cp	Índice Cpk	Observación
2018	0.51	0.33	No cumple con el requerimiento mínimo de 1.33
2019	1.26	0.98	Se observa una mejora significativa pero no cumple el requerimiento mínimo de 1.33

Así mismo se observó un mejor desempeño del espesor de pastillas de dulce dentro de las tolerancias especificadas, esto ha sido el resultado de la actividad de control, ya que se ha monitoreado la dimensión del espesor de las pastillas; los datos muestran consistencia y tendencia a estar cargados a el límite superior mostrando un nivel sigma (figura 10).

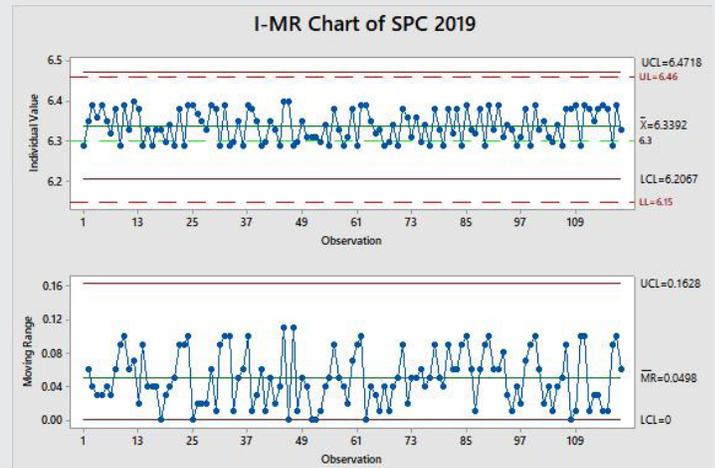


Figura 10. Gráfico de SPC 2019

Del factor de maquinaria, la falta de escalas de medición en los "sizers", se trabajó en la reposición de las escalas de los "sizers" (figura 11). Esta causa es una de las contribuyentes principales al espesor de las pastillas de dulce, ya que de ésta depende el ajuste de la alimentación de la cuerda de dulce hacia la prensa.



Figura 11. Escalas de los "Sizers"

Otro factor de la maquinaria, es la la velocidad de la prensa no estaba estandarizada; se revisó la velocidad de la prensa, ya que se tenía la idea de que trabajaba a velocidades diferentes cada semana. Se encontró que el maquinista no tiene acceso a este parámetro, ya que es un ajuste interno con un controlador dentro de un panel de control, al que solo los técnicos de mantenimiento tienen acceso, además este ajuste no esta permitido modificarlo, ya que ocasiona otros ajustes mayores para la sincronia de los mecanismos de la prensa.

Del factor de medición, se seleccionó la causa el micrómetro falla, este presentaba fallas a la vista, ya que se apreciaba una falta de repetitibilidad en las lecturas. El instrumento se mandó a calibrar y el proveedor sugirió en base al proceso de producción y las condiciones detectadas en el equipo algunas mejoras, mismas que siguen pendientes de implementar. Así mismo se observó que los maquinistas tomaban las lecturas de manera incorrecta, por lo que se les explicó y se colocó una ayuda visual del método de medición de pastillas de dulce. Posteriormente se procedió a realizar de nue-

va cuenta el análisis de reproducibilidad y repetitibilidad para el cual se obtuvo un estudio satisfactorio al tener $0.56\% < 1\%$ de porcentaje de contribución del sistema total de "Gage R&R"

CONTROLAR

Para la actividad revisión de temperaturas de las etapas del proceso de mezclado, templado, preformado se implementó un formato de revisión de temperaturas para cada uno, en el cual se estableció una revisión cada dos horas para cada etapa del proceso. Para la actividad revisión de la calibración del sorteador, se estableció el formato de revisión de calibración, el cual consistió en revisar cada lunes, antes del inicio de la producción, con la finalidad de que los ajustes se hicieran de manera oportuna. Se dio capacitación en el llenado del gráfico de control del espesor de pastillas de dulce, al ser esta información vital para los ajustes oportunos de las temperaturas del proceso y ajustes de las escalas de los "sizers". Los puntos que abarcó el entrenamiento consistieron en la forma correcta de hacer la medición de las pastillas de dulce usando el micrómetro, así como los pasos a seguir cuando se detectan puntos fuera de control (especificaciones) en las gráficas.

CONCLUSIONES

Al utilizar la metodología de DMAIC, se logró conocer los factores que afectaban la variación en el espesor de pastillas de dulce. Específicamente al haber estudiado cada una de las etapas del proceso y por ende haber desarrollado el diagrama de causa y efecto se logró detectar como factor principal la maquinaria, específicamente con las causas de desgaste en algunos de los componentes mecánicos de la máquina prensadora, así como de los dados de formado. Otros factores como la reposición de indicadores de medición de la maquinaria, mejora del sistema de medición, así como el monitoreo de los parámetros importantes del proceso como la temperatura, contribuyeron también a mejorar la variación en el espesor de las pastillas de dulce.

El trabajo previamente mencionado se complementó con la capacitación de los maquinistas en el proceso y en el uso de gráficas de control, que ayudaron a mantener información en tiempo real del proceso, que ayudó a hacer los ajustes de manera oportuna en el proceso, dando lo anterior como resultado los siguientes indicadores, una mejora en la capacidad del proceso de un Cpk de 0.33 (2018) a un 0.98 (2019), esto a su vez se reflejó en el porcentaje de desperdicio, ya que en el área de cocina el porcentaje más alto detectado fue un 6.9% en el 2019, comparado con el 2018 en donde se había registrado hasta un 13 %, de igual forma para el área de empaquetado los datos de cantidad de producción y desperdicio obtenidos durante el 2019 fueron hasta en un 7.6 % comparado con el 2018 en donde se registró hasta un 18%.

Existe aún la oportunidad de mejora, que sería ayudar a disminuir la variación del espesor de pastillas de dulce y porcentaje de desperdicio, al trabajar con cada uno de los sabores y conocer los ajustes en la maquinaria que estos necesitan en específico, esto por lo detectado en los sabores de piña y mantequilla al presentar diferencias en el espesor promedio de las pastillas al ser trabajados bajo condiciones iguales.

De igual forma continúan pendientes por desarrollarse algunas actividades provenientes del diagrama de causa y efecto, con las que se presume pudiera haber una mejora, como lo es el análisis del impacto de la humedad en el espesor de la pastilla de dulce. Con lo descrito hasta el momento se da por concluido el proyecto de reducción de la variación en el espesor de pastillas de dulce.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Van Heerden, M., & Josste, J. (2018). *A Guide For Integrating Total Quality Management and Physical Asset Management in The Food Industry*. *South African Journal of Industrial Engineering*, 155-170.

[2] Center for Food Safety and Applied Nutrition. *Documento Web*, noviembre del 2018. <https://www.fda.gov/Food/GuidanceRegulation/ImportsExports/Importing/default.htm>

[3] Safe Quality Food Institute. *Documento Web*, noviembre del 2018. <https://www.sqfi.com/what-is-the-sqf-program/>

[4] ISO 22000. *ISO International Organization for Standardization*. *Documento Web*, noviembre del 2018. <https://www.iso.org/iso-22000-food-safety-management.html>.

[5] Kaushik, P., & Khanduja, D. (2009). *Application of Six Sigma DMAIC Methodology in Thermal Power Plants: A Case of Study*. *Total Quality Management & Business Excellence*, 197-207.

[6] Kaid, H., & Noman, M. A. (2016). *Six Sigma DMAIC Phases Application in Y Company: A Case Study*. *Collaborative Enterprise*, 181-197.

[7] Smetkowska, M., & Mrugalska, B. (2018). *Using Six Sigma DMAIC to Improve the Quality of the Production Process: A Case of Study*. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 590-596.

[8] Snee, R. D. (2010). *Lean Six Sigma Getting Better all the Time*. *International Journal of Lean Six Sigma*, 9-29.



Calidad

y

Sistemas de
Manufactura

Ingeniantes

Sistema de inventario ABC en producto terminado en Compañía Industrial de Tepeji del Río



Colaboración

Sergio Serrano González; María Guadalupe Santillan Valdelamar; Francelin Dimas Díaz, Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo; Tonatiuh Mauricio Meneses Márquez; Yuridia González Hernández, Instituto Tecnológico Superior de Huichapan

Fecha de recepción: 07 de agosto de 2020

Fecha de aceptación: 11 de mayo del 2021

RESUMEN: La Compañía Industrial de Tepeji del Río S.A. de C. V. mejor conocida como Toallas La Josefina, dedicada a la fabricación y distribución de toallas de lujo de uso comercial y doméstico presenta problemáticas en el departamento de producto terminado ya que no se tiene un sistema de control de inventarios que permita conocer las existencias físicas de forma inmediata. En 2016 se tenía una confiabilidad del 65% entre la existencia en físico y el sistema. Se realizó un análisis ABC para conocer la rotación de los artículos y determinar la ubicación óptima en el almacén. Se implementaron formatos para entrega y recepción del producto terminado, entre ellos la hoja estándar de verificación (kardex). Se realizaron 3 levantamientos de inventarios para obtener en el último 99.52% de confiabilidad entre las existencias en físico y lo registrado en el sistema, aumentando en 34.5% la confiabilidad del inventario de acuerdo al diagnóstico. Se utilizó un sistema de inventarios ABC que permite tener el control de las entradas y salidas de productos terminado, así como las existencias en tiempo real.

PALABRAS CLAVE: Análisis ABC, Confiabilidad, Inventario, Kardex, Producto terminado.

ABSTRACT: The Industrial Company of Tepeji del Río S.A. de C.V. better known as Toallas La Josefina, dedicated to the manufacture and distribution of luxury towels for commercial and domestic use presents problems in the finished product department since there is no inventory control system that allows knowing the physical stocks of immediately. In 2016, there was a 65% reliability between the physical existence and the system. An ABC analysis was performed to find out the rotation of the items and determine the optimal location in the warehouse. Formats for the delivery and receipt of the finished product were implemented, including the standard verification sheet (kardex). 3 inventories were carried out to obtain the last 99.52% of reliability between the physical stocks and what was registered in the system, increasing the inventory reliability according to the diagnosis by 34.5%. A ABC inventory system was used that allows the control of the inputs and outputs of finished products, as well as the stocks in real time.

KEYWORDS: ABC Analysis, Reliability, Inventory, Kardex, Finished Product.

INTRODUCCIÓN

En el departamento de almacén de producto terminado, realiza la administración de materiales de acabado, se controlan las existencias físicas registradas en el sistema de la compañía, parte de los procesos es brindar la confiabilidad de la mercancía almacenada, controlar las salidas o despacho del material, realizar inventarios periódicos para evitar desfases y dar como resultado el aseguramiento físico/sistema para dar certeza al área comercial a la hora de pactar las ventas. Dentro de estas actividades, se establece un enfoque sistémico para interconectar las actividades ejecutadas durante los procesos que se realizan en el almacén de producto terminado.

La problemática detectada en el departamento de producto terminado es no tener un sistema que permita conocer la confiabilidad del producto terminado que se encuentra almacenado, desconocer la cantidad de piezas existentes de los modelos, programar producción generando inventario de productos creando insuficiencia de espacios para almacenar. Se presentan errores de captura y retrasos hasta de 4 días, no existe control y verificación por parte del personal de producto terminado. No se tiene alguna herramienta de inventarios para conocer la rotación, se realizan retrabajos, pérdida de producción, la recepción de la mercancía en el almacén la realizan personas de cualquier puesto dentro del producto terminado.

La implementación de un sistema de inventarios ABC en compañía industrial de Tepeji del Río permitirá reducir problemas de inventario y localización, así como aumentar el nivel de confiabilidad.

Sustento Teórico

Las causas fundamentales para la necesidad del mantenimiento de inventarios en cualquier empresa son el desfase que existe entre la demanda de los consumidores y la producción o suministro de dichos productos, así como las fluctuaciones aleatorias de la demanda y de los tiempos de reposición en la cadena de suministro. Las estrategias más comunes para manejar estas fluctuaciones son el mejoramiento de la calidad de la información, el mantenimiento de inventarios de seguridad y la colaboración en la cadena de abastecimiento. [1]

Con el propósito de adaptar las funciones de inventarios, las empresas mantienen cuatro tipos de inventarios:

1. Inventario de materias primas: se usa para separar a los proveedores del proceso de producción. No obstante, el enfoque más común consiste en eliminar la variabilidad en cantidad, calidad o tiempo de entrega por parte del proveedor, lo cual hace innecesaria la separación.

2. Inventario de trabajo en proceso (WIP, work in process): consta de componentes o materias primas que han sufrido ciertos cambios, pero no están terminados. El WIP existe por el tiempo requerido para hacer un producto (llamado tiempo de ciclo). Reducir el tiempo de ciclo disminuye el inventario.

3. Inventario para mantenimiento, reparación y operaciones (MRO): se refieren a los artículos de mantenimiento, reparación y operaciones, necesarios para mantener productivos la maquinaria y los procesos. Estos inventarios existen porque no se conocen la necesidad y los tiempos de mantenimiento y reparación de algunos equipos. Aun cuando la demanda del inventario MRO suele ser una función de los programas de mantenimiento, es necesario prever las demandas no programadas de MRO.

4. Inventario de producto terminado: maneja productos completados en espera del embarque. No conocer las demandas futuras del cliente será la causa del inventario de bienes terminados.

Inventarios ABC

Esta técnica es usada frecuentemente cuando el número de unidades de mantenimiento en almacén (SKU, stock keeping unit) diferentes es demasiado grande para implementar un método de control. Permite visualizar los artículos de mayor valor para poder tomar decisiones más eficientes. El diseño de esta herramienta es para tres clases de artículos, pero si se excede de esa cantidad, solo se tiene que dividir los SKUs para formar más grupos. [2]

El análisis ABC divide el inventario disponible en tres clases con base en su volumen anual en dinero. El análisis ABC es una aplicación a los inventarios de lo que se conoce como principio de Pareto. El principio de Pareto establece que hay "pocos artículos cruciales y muchos triviales". La idea es establecer políticas de inventarios que centren sus recursos en las pocas partes cruciales del inventario y no en las muchas partes triviales. No es realista monitorear los artículos baratos con la misma intensidad que a los artículos costosos. [3]

Exactitud en los registros

Las buenas políticas de inventarios pierden sentido si la administración no sabe qué hay disponible en su inventario. La exactitud de los registros permite a las organizaciones enfocarse en aquellos artículos que son más necesarios, en vez de no tener la seguridad de que "algo se tiene" está preciso su inventario. Sólo cuando la organización puede determinar con exactitud qué está disponible es capaz de tomar decisiones concretas acerca de pedidos, programación y embarque. [3]

Contexto cíclico

Para registrar con precisión su inventario, los registros se deben verificarse mediante una auditoría continua. Tales auditorías se conocen como conteo cíclico. En su lugar, el control del inventario se debe verificar con una comprobación del ciclo. Esta técnica utiliza la clasificación del inventario desarrollado en el análisis ABC. Con los procedimientos de conteo cíclico, periódicamente se cuentan los artículos, se verifican los registros y se documentan las imprecisiones. Se rastrea la causa de las imprecisiones y se toman las medidas correctas para garantizar la integridad del sistema de inventario. Los artículos A se cuentan con frecuencia, tal vez una vez al mes; los artículos B se cuentan con menos frecuencia, tal vez cada trimestre; y los artículos C se cuentan probablemente una vez cada seis meses. [3]

Modelo clásico de inventario EOQ

El modelo de la cantidad económica a ordenar (EOQ, economic order quantity) es una de las técnicas para el control de inventarios que minimiza los costos totales

de ordenar y mantener. El uso de esta técnica es relativamente sencillo y se basa en varias suposiciones:

1. La demanda es conocida, constante e independiente.
2. El tiempo de entrega, es decir, el tiempo entre colocar y recibir una orden, se conoce y es constante.
3. La recepción del inventario es instantánea y completa. En otras palabras, el inventario de una orden llega en un lote al mismo tiempo.
4. Los descuentos por cantidad no son posibles.
5. Los únicos costos variables son el costo de preparar o colocar una orden (costo de preparación) y el costo de mantener o almacenar el inventario en el tiempo (costo de mantener o manejar).
6. Los faltantes (escasez) se evitan por completo si las órdenes se colocan en el momento adecuado. [3]

La cuantía del lote óptimo a pedir Q^* es:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{H}} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde

D es la demanda en unidades por año del producto

S es el costo por pedido (o setup cost)

H es el costo de mantener en inventario una unidad por año [4].

Herramientas de Software

El sistema de código de barras que dentro de la gestión de inventarios ha permitido la identificación, trazabilidad y captura de datos logísticos.

Por otro lado, su configuración y utilización depende de las necesidades y características de la empresa, dentro de sus aplicaciones se encuentra: la identificación y seguimiento de órdenes, documentos de proveedores, catálogos de compra, emisión de órdenes de compra automáticas basadas en puntos de reorden, entre otros, además contribuye al control de los inventarios [5].

El sistema de inventarios perpetuo o permanente permite un control constante de los inventarios, al llevar el registro de cada unidad que ingresa y sale del inventario. Este control se lleva mediante tarjetas llamadas Kardex o marbete, en donde se lleva el registro de cada unidad, su valor de compra, la fecha de adquisición, el valor de la salida de cada unidad y la fecha en que se retira del inventario [6].

La investigación tecnológica.

También denominada desarrollo, tiene por finalidad la invención de artefactos o de procesos con el objeto de ofrecerlos al mercado y obtener un beneficio económico. Es esencialmente experimental y de acuerdo con lo indicado puede quedar englobada en la obtención de conocimientos particulares. Dado que el objetivo de la investigación tecnológica debe tener aspectos diferentes del meramente científico-técnico, tales como el productivo, financiero y el comercial, se requiere el concurso de un comité pluridisciplinario, formado por personas de los diferentes ámbitos que intervienen, para el análisis de la posibilidad de llevarlo a término con éxito.

1. El número de proyectos debe ser menor que el número de investigadores.
2. Los investigadores producen tanto más, cuando mayor sea la exigencia de obtener buenos resultados para la empresa.
3. La investigación no la hacen los circuitos administrativos sino los hombres, y estos con lo único que cuentan es con sus conocimientos y el tiempo, siempre escaso. [7]

El objetivo del trabajo es implementar una herramienta en el almacén de producto terminado que permita tener control sobre las entradas y salidas en el inventario en la Compañía Industrial de Tepeji del Río S.A. de C.V.

MATERIAL Y MÉTODOS

La metodología

Se realizó una investigación aplicada tecnológica a través de un sistema de inventarios ABC. Los pasos a seguir son:

1. Ingreso y recepción de producto terminado
2. Análisis ABC
3. Proceso de producto terminado
4. Almacenamiento de producto terminado
5. Hoja de verificación
6. Prueba 1 del inventario
7. Prueba 2 del inventario
8. Prueba 3 del inventario
9. Conteo cíclico

Ingreso y Recepción de Producto Terminado

Se define el área de pre recepción para la manipulación y estancia de la mercancía.

Se crean códigos adheribles para cada paquete con el fin de rastrear cualquier producto y evitar confusión de mercancía durante la manipulación como se muestra en la figura 1.



Figura 1. Etiquetas adheribles para paquetes de producto terminado.

En la tabla 3 se presentan los modelos con rotación media de mayor a menor en el área de producto terminado.

Tabla 3. Artículos de media rotación

Número artículo	Descripción
712W#2KAC1200	ESPECIAL #2 ALBERCA BEIGE LISA 200X100 1,100 GR.
700NK7CAA4100	LH TAPETE #3 PAJA
700NL3G#J1200	REAL #4 VERDE PISTACHE
703AL3GK01100	HOTEL HILTON BAÑO
705GN6JA01200	HOTEL ROYAL ALBERCA

En la figura 5 se muestra el concentrado de porcentajes de los artículos de rotación baja en el área de producto terminado, en este caso el de menor rotación corresponde al modelo caricia #3 azul claro 130x70 400gr con 9.07% en color naranja.

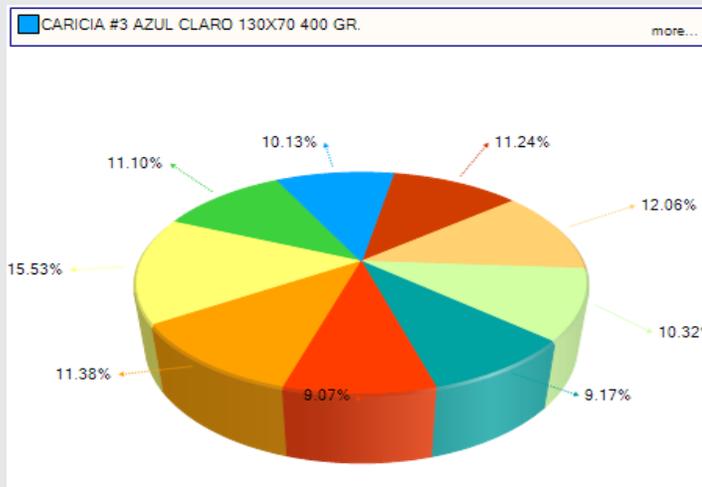


Figura 5. Prueba de Fisher (Anova) Frecuencia vs Días acumulados. Elaboración Propia

En la tabla 4 se presentan los modelos con rotación baja en el área de producto terminado de menor a mayor.

Tabla 4. Artículos de baja rotación

Número Artículo	Descripción de Artículo
70AGK1DAB8100	CARICIA #3 AZUL CLARO 130X70 400 GR
71akc14201100	LHFACIAL BLANCA 30X30 42 GR
70AGK1DA01100	CARICIA #3 BLANCA 130X70 400 GR
70AGK1DAC1100	CARICIA #3 BEIGE 130X70 400 GR
70AGK1DAF5100	CARICIA #3 MORADO 130X70 400 GR

Ajuste de tabla de códigos

El personal del departamento reacomodó el producto terminado en los lugares específicos de acuerdo a los resultados obtenidos colocando los artículos de mayor movimiento en lugares más cercanos a la operación con la finalidad de agilizar su despacho y a su vez dejar registro de espacio sobre dicho artículo.

En la tabla 5 se presenta nuevamente la tabla de apoyo para el aduanero agregando una columna con la ubicación física exacta para cada modelo y tener la información precisa del lugar a donde se tiene que ingresar el producto terminado.

Tabla 5. Códigos con ubicación física

Número Artículo	Descripción	Descripción	Ubicación Física
700NF1APJ1200	REAL #2 VERDE PISTACHE	S/C	
706EE18001100	IMPERIAL C&P FACIAL	BLANCA 80 GR	
706EE18003101	IMPERIAL C&P FACIAL	NEGRA 80 GR	
70AGA23301100	CARICIA FACIAL BLANCA	33 GR	
70AGA233A4100	CARICIA FACIAL PAJA	33 GR	

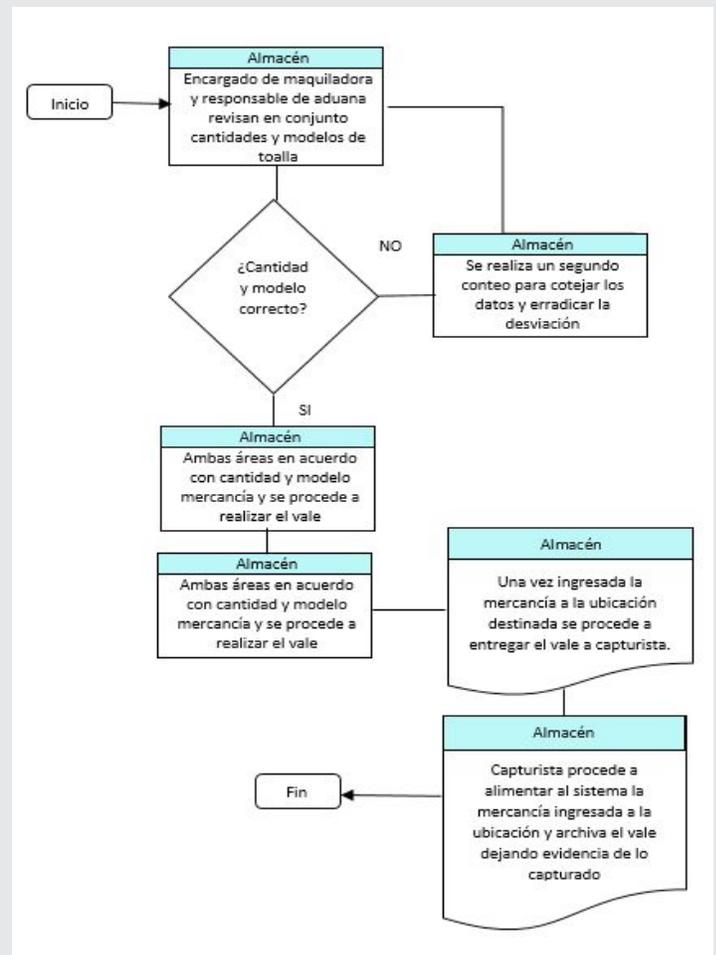


Figura 6. Señalética para el personal Elaboración Propia

Proceso de Producto Terminado

En la figura 6 se presenta el diagrama del proceso de recepción del producto terminado.

En la figura 7 se muestra el proceso del acomodador del producto terminado.

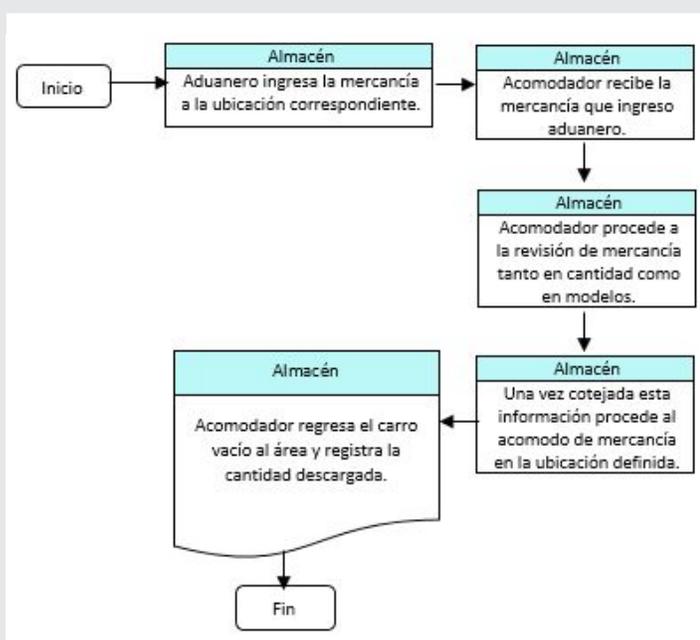


Figura 7. Diagrama de acomodo del producto terminado

Hoja de verificación

Se implementó una hoja estándar de verificación (kardex), tabla 6, la cual indica las entradas y salidas del producto terminado para que todo lo que ingresa a las ubicaciones físicas sea registrado en este documento y ayudar a controlar lo ingresado y lo surtido para tener el inventario actualizado.

La hoja de verificación se aplicó en todos los modelos de toalla del almacén de producto terminado.

Tabla 6. Hoja estándar de verificación (kardex)

		Fecha: 11/09/2014 Salon: 2 Turno: 1o Resp: PABLO								
INVENTARIOS ESTÁNDAR BÁSICO DEL ÁREA HOJA DE EVALUACIÓN DIARIA REGISTRO DE ENTRADAS										
EVALUADOR	FOLIO DE VAL E	CODIGO DE ARTICULO	MODELO DE TOALLA	CANTIDAD FÍSICO EN ENTRADA	CANTIDAD DE ENTRADA	TOTAL FÍSICO MÁS ENTRADA	CANTIDAD FÍSICO SISTEMA	HORA	FIRMA DEL BAJADOR	COMENTARIOS Y/O OBSERVACIONES
1	92588	70agMafg3100	Carici a -1 naranj a medio	12	15	27		09:30	DANIEL	
2										
3										
4										
5										
6										

Este documento tiene como función principal mostrar datos actualizados de los movimientos de cada artículo de la toalla del almacén de producto terminado siendo responsable de alimentarlo el personal de acomodo a nivel entradas y a su vez los surtidores responsables de alimentarlo en el despacho.

Prueba 1 del inventario

Se realiza una toma de inventarios considerando la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Total de artículos contados}}{\text{Cantidad de artículos en sistema}} \times 100 = \% \text{Confiabilidad} \quad \text{Ec. (2)}$$

La empresa en 2016 tenía una confiabilidad del 65% entre la existencia en físico y el sistema informático como parámetro de inventario de producto terminado.

En la tabla 7 se presenta el primer resultado en la toma del inventario de producto terminado con 84.37% de confiabilidad, incrementando en 19.37% respecto al diagnóstico inicial.

Tabla 7. Primera toma de inventario físico

SALÓN	EXISTENCIA SISTEMA	CONTEO FÍSICO	% DE CONFIABILIDAD
Salón 1	130	128	98.5%
Salón 2	40	38	95.0%
Salón 3	71	69	97.2%
Salón 4	87	70	80.5%
Salón 5	110	95	86.4%
Salón 6	188	150	79.8%
Salón 7	75	40	53.3%
PROMEDIO GENERAL			84.37%

Ajustes de la prueba 1 del inventario

En la revisión de la primera toma se encontraron errores en operaciones matemáticas básicas y olvidos de anotaciones en entradas y salidas.

Se imparte una plática de sensibilización al personal de ingreso y despacho del producto terminado indicando la importancia del correcto y buen uso de los marbetes o kardex de entrada enfatizando en los siguientes puntos:

- No desacomodar las estibas.
- Surtir solo la cantidad requerida.
- Si es necesario surtir restos, el sobrante de producto debe ser reacondicionado y puesto nuevamente en su lugar.
- Realizar los descuentos correctamente y anotarlos en el marbete correspondiente con todos los datos requeridos (uso obligatorio de lapicero, para evitar manipulación de datos).
- No dejar marbetes fuera de su lugar.
- No dejar paquetes fuera de ubicación.
- En caso de encontrar paquetes en mal estado, procurar reacondicionarlos y dar aviso al supervisor.
- Evitar dejar sobrantes fuera de ubicación.

- Tener precaución con el manejo de los carros donde se traslada la mercancía, para no dañar las estibas e instalaciones.
- Poner especial atención al producto que tienen por acomodar, en cantidad y ubicación.
- Acomodar el producto de manera uniforme y dentro de las estibas bajar camas iguales, de no ser así señalar si alguna estiba no es uniforme en su acomodo.

Prueba 2 del inventario

Se realiza nuevamente un inventario físico para verificar los índices de confiabilidad en las diferentes ubicaciones, los movimientos de entrada y de salida arrojando menor margen de error. En la tabla 8 se observa el 95.82% de confiabilidad respecto a lo registrado en sistema, aumentado en 11.45% respecto a la prueba 1 y 30.82% respecto al diagnóstico.

Tabla 8. Segunda toma de inventario físico

SALÓN	EXISTENCIA SISTEMA	CONTEO FÍSICO	% DE CONFIABILIDAD
Salón 1	130	130	100.0%
Salón 2	40	39	97.5%
Salón 3	71	71	100.0%
Salón 4	87	83	95.4%
Salón 5	110	105	95.5%
Salón 6	188	180	95.7%
Salón 7	75	65	86.7%
PROMEDIO GENERAL			95.82%

Ajustes de la prueba 2 del inventario

Se asigna un nuevo puesto dentro del departamento de producto terminado llamado "oficial contador", el cual su función es controlar los inventarios del almacén de producto terminado soportando la documentación necesaria de entradas y salidas de mercancía.

Prueba 3 del inventario

Se realiza nuevamente un levantamiento de inventario general bajo el esquema de marbetes teniendo como resultado un 99.52% de confiabilidad como se muestra en la tabla 9. Respecto a la prueba 2 se incrementó en 3.7% la confiabilidad, mientras que respecto al diagnóstico aumentó en 34.52%.

Tabla 9. Toma final de inventario físico

SALÓN	EXISTENCIA SISTEMA	CONTEO FÍSICO	% DE CONFIABILIDAD
Salón 1	130	130	100.0%
Salón 2	40	40	100.0%
Salón 3	71	71	100.0%
Salón 4	87	86	98.9%
Salón 5	110	109	99.1%
Salón 6	188	188	100.0%
Salón 7	75	74	98.7%
PROMEDIO GENERAL			99.52%

Conteo cíclico

Teniendo los controles de entrada y salida, después de haber tomado 3 inventarios físicos se implementa un formato semanal llamado "conteo cíclico" que es entregado a los responsables de cada ubicación y sirve de guía para los oficiales contadores

En la tabla 10 se muestra la hoja de conteo cíclico, donde se muestra la cantidad reflejada o capturada en sistema.

Tabla 10. Hoja de conteo cíclico

Numero Artículo	Descripción	Descripción	Sistema	Ubicación	Físico
700NI3CA 02100	L.H.1 TAPETE #3	NATURAL 70X50 300GR	610	SALÓN 5	
700NI3CA C4100	L.H.1 TAPETE #3	CHOCOLATE 70X50 300GR	1,462.00	SALÓN 5	
700NK7C AA4100	L.H TAPETE #3 PAJA	50X70 CM 300GR	616	SALÓN 5	
700NK7C AB4100	L.H.1 TAPETE #3 AZUL	MARINO C/C 70X50 300GR	806	SALÓN 5	
700NK7C AH5100	L.H.1 TAPETE #3	CEREZA C/C 70X50 300GR	945	SALÓN 5	

RESULTADOS

Después de implementar códigos adheribles, tablas de códigos, vale de entrada, análisis ABC y hojas de verificación se obtienen los porcentajes de confiabilidad en las 3 tomas del inventario en el almacén de producto terminado. En la tabla 11 se muestran los porcentajes e incrementos.

Tabla 11. Resultado de la toma de inventarios

Toma de inventarios	% confiabilidad	% incremento
Diagnóstico	65.00	
1	84.37	19.37
2	95.70	11.33
3	99.52	03.82

La aplicación de los inventarios semanales permite conocer los movimientos de cada artículo y a su vez tomar acciones de mejora sin dejar de lado el proceso de marbete establecido para cada uno de los diferentes artículos de producto terminado.

Además, se obtuvo como resultado disciplina, limpieza y orden operativo que al día de hoy se mantienen activas en el departamento.

La confiabilidad de los inventarios, así como los índices de exactitud que registró el área de producto terminado permitió realizar inventarios anuales por parte de auditorías externas al departamento de producto terminado con los siguientes resultados:

Auditoria Externa. Inventario Anual 2016

El proceso de auditoria es de forma aleatoria, se realizó el 3 de enero de 2017 en el almacén de producto terminado.

En la tabla 12 se presenta el resultado de la auditoria externa de la toma física de inventario anual 2016 en la

que se observa que existe 1 pieza faltante en el salón 5 equivalente a \$79.4.

Tabla 12. Faltantes en el inventario 2016

Planta	Ubicación	Artículo	Descripción	Diferencia ajustada	Costo unitario	Monto total
10	Salón 5	70CZN31A001100	Imperial II Alberca Bca	1 Pieza	\$79.41	\$79.41

En la tabla 13 se presenta el resultado de la auditoria externa de la toma física de inventario anual 2016 en la que se observa que existen 12 piezas sobrantes en el salón 10 equivalente a un monto total de \$180.24.

Tabla 13. Sobrantes en el inventario 2016

Planta	Ubicación	Artículo	Descripción	Diferencia ajustada	Costo unitario	Monto total
10	Salón 2	71ASF1AP01200	Real #2 Blanca s/c	12 Piezas	\$15.02	\$180.24

Auditoria Externa. Inventario Anual 2017

Se realizó la toma física del inventario anual el 2 de enero de 2018 en el almacén de producto terminado, el cual es aleatorio por parte de los auditores externos. En la tabla 14 se presenta el resultado de la auditoria, en la cual existe una diferencia ajustada de 10 piezas faltantes equivalente a un monto total de \$899.5.

Tabla 14. Faltantes en el inventario 2017

Planta	Ubicación	Artículo	Descripción	Diferencia ajustada	Costo unitario	Monto total
10	Salón 6	760NN3GAZC200	L.H.2 Alb List#2 Azul/Bco	10 Piezas	\$89.95	\$899.5

CONCLUSIONES

Con el aumento de la confiabilidad de un 65% a un 99.52% en las diferentes etapas, permitió verificar el beneficio las herramientas utilizadas como inventarios perpetuos, cíclicos y ABC.

Así también el software ERP QAD permitió conocer el inventario entre lo registrado en el sistema y las existencias en almacén para conocer con exactitud, al día y en tiempo real la cantidad de producto terminado de cualquier modelo, ubicar de forma inmediata el producto cuando se requiere, así como ordenar la producción requerida para realizar las ventas. La implementación del inventario duró aproximadamente 3 años para llegar al 99.52% de confiabilidad, lo que representó para la empresa ahorros entre 14 y 18 millones de pesos.

AGRADECIMIENTOS

El reconocimiento y gratitud al Ing. Mario Alberto Tovar Estrada, jefe de almacén de producto terminando y embarques de la Compañía Industrial de Tepejí del Río (Toallas La Josefina), por el apoyo incondicional para la realización de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Vidal, H; Londoño, O; Contreras, R. (2004) *Aplicación de Modelos de Inventarios en una Cadena de Abastecimiento de Productos de Consumo Masivo con una Bodega y N puntos de venta. Ingeniería y Competitividad. Volumen 6. No. 1 Pag. 35. Recuperado de:*

https://revistaingenieria.univalle.edu.co/index.php/ingenieria_y_competitividad/article/view/2287/3037

[2] Teunter, R; Babai, M; Syntetos, A. (2010) *ABC Classification: Service Levels and inventory Costs. Production and operations management. Vol 19. Issue 3. DOI 10.3401/poms.1080.01098. ISSN 1059-1478/EISSN 1937-5956/09 pp1-10. Recuperado de: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1937-5956.2009.01098.x*

[3] Heizer, J., & Render, B. (2004). *Principios de administración de operaciones. Pearson Educación*

[4] Díaz, B; Pérez, A. (2012). *Optimización de los niveles de inventario en una cadena de suministros. Ingeniería Industrial ISSN 1815-5936 vol. XXXIII No. 2 p. 126-132. Recuperado de: https://www.redalyc.org/pdf/3604/360433580004.pdf*

[5] Correa, A; Álvarez, C; Gómez, R. (2010). *Sistemas de identificación por radiofrecuencia, código de barras y su relación con la cadena de suministro. Estudios Gerenciales. Vol. 26 No. 116. Pags 115-141 Obtenido de: http://www.scielo.org.co/pdf/eg/v26n116/v26n116a07.pdf*

[6] Gerencie. (n.d). *Sistema de inventarios permanente. Recuperado de: https://www.gerencie.com/sistema-de-inventarios-permanente.html*

[7] Sánchez, J. C. (2004). *Metodología de la investigación científica y tecnológica. Ediciones Díaz de Santos*



Calidad

y

Sistemas de Manufactura

Ingeniantes

Aplicación de un estudio de tiempos y simulación al proceso de termoformado para aumentar su productividad



Colaboración

Javier Mondragón Sánchez; Aparicio Urbano Jose; Marlene Cruz Romero, Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán; Hugo Alberto Bravo Quintero, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán

Fecha de recepción: 20 de noviembre de 2020

Fecha de aceptación: 11 de marzo del 2021

RESUMEN: Para mantener una ventaja competitiva en el mercado de contenedores para pasteles, en el presente trabajo se aplicó la estrategia de estudio de tiempos y simulación en Arena® en la planta de formado de pasteleros, con el objetivo de minimizar los costos de fabricación para obtener un mayor margen de utilidad, al minimizar los costos de operación mediante la correcta asignación de personal, disminución de mermas por mal manejo de materiales y eliminación de actividades que no agregan valor al producto. La técnica Mapa de Flujo de Valor (VSM) se aplicó para conocer el estado actual del proceso y plantear un estado futuro con las mejoras correspondientes donde se muestra como estaba establecido el proceso y cómo quedó conformado posterior al desarrollo de la mejora propuesta, siendo esta favorable en un 90 %.

PALABRAS CLAVE: Simulación, ARENA, VSM, estudio de tiempos, desperdicios.

ABSTRACT: In order to maintain a competitive advantage in the market for containers for cakes, in this study the strategy of time study and simulation was applied in Arena® in the bakery forming plant, with the aim of minimizing manufacturing costs to obtain a higher profit margin, by minimizing operating costs through the correct allocation of personnel, reduction of losses due to poor handling of materials and elimination of activities that do not add value to the product. The VSM technique was applied to know the current state of the process and propose a future state with the corresponding improvements, which shows how the process was established and how it was formed after the development of the proposed improvement, which is 90% favorable.

KEYWORDS: Simulation, VSM, Time Study, waste.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, las empresas buscan obtener el mayor margen de utilidad [1] en los productos que elaboran buscando siempre minimizar los costos de fabricación [2] a través de la reducción de tiempos muertos, mermas por defectos de calidad, procesos innecesarios, tiempos de espera, etc. [3]. Debido a esta necesidad surgen diversas estrategias, técnicas o filosofías, que ayudan a disminuir los efectos de los desperdicios generados en el proceso, tal es el caso de la técnica de toma de tiempos la cual se aplica en este artículo y nos ayuda a conocer el tiempo promedio que se utiliza en cada actividad involucrada en el proceso como: tomar, jalar, mover, empaquetar, etc. [4]. Al tener una mejor perspectiva del tiempo que lleva cada actividad se analiza la posibilidad de mejorar dicho proceso, mediante la eliminación de actividades que no agregan valor al producto.

En este artículo se explica el procedimiento que se utilizó para aumentar la productividad [5] del proceso de fabricación de contenedores de plástico para pasteles, comúnmente llamados pasteleros, mediante la técnica de termoformado. El problema surge debido a la gran cantidad de pérdida de efectivo a través de actividades que no agregan valor, materiales defectuosos, esperas de alistamiento, entre otras [6]. Y al tratar de eliminarlas se tiene otro problema que es la falta de tiempo para detener procesos para el cambio, además es muy costoso realizar una modificación a una máquina. Los directivos siempre buscan minimizar los gastos y mantener los estándares de productividad.

El objetivo fue desarrollar un estudio de trabajo con apoyo de las técnicas de toma de tiempos y simulación, que nos ayuden a aumentar la productividad por medio de la eliminación de actividades que no agregan valor a los productos bajo las siguientes premisas:

1 El VSM permite conocer el estado actual del proceso donde se identifican las actividades que no añaden valor y plantear un estado futuro con las mejoras correspondientes.

2 Los costos de operación se pueden minimizar a través de la correcta asignación de personal, disminución de mermas por mal manejo de materiales, y eliminación de actividades que no agregan valor al proceso.

Este estudio se desarrolló mediante la administración y organización de recursos, sin la necesidad de inversión de dinero o tiempo de producción. Al analizar y estandarizar actividades se buscó una estrategia diferente de hacer las cosas buscando lograr los resultados deseados.

La primera etapa comprende la metodología a seguir, que abarca la selección de la familia de productos, la cual indica que una familia es un grupo de productos que pasan a través de etapas similares durante la transformación pasando por equipos comunes. Posteriormente se lleva a cabo una cartografía de la cadena de valor actual, la cual puede representar una herramienta de comunicación, de planificación comercial y también una herramienta para gestionar un proceso de cambio [7]. La siguiente etapa es identificar una mejora al proceso productivo. Desarrollar un mapa de cadena de valor futuro, en donde se coloca un relieve de las fuentes de desperdicio y la forma de eliminarlas poniendo en marcha en un plazo breve una cadena de valor basada en el mapa del estado futuro. La elaboración de un VSM actual y futuro permite desarrollar representación gráfica del estado actual y futuro del sistema de producción, con el objetivo de que los usuarios tengan un mejor entendimiento de las actividades que no agregan valor al proceso y las cuales necesitan ser eliminadas [8].

Por último, se desarrolla la simulación del proceso la cual tiene por objetivo comprender, analizar y mejorar las condiciones de operación relevantes del sistema [9].

La simulación de procesos es una de las más innovadoras herramientas empleadas actualmente en ingeniería para el análisis de áreas productivas. Es utilizada normalmente para representar un proceso real mediante otro mucho más simple y entendible. La necesidad de su utilización depende del grado de complejidad de los procesos dados por la misma organización.

MATERIAL Y MÉTODOS

El método utilizado para realizar el estudio consta de cinco etapas, donde la primera es selección de la familia de productos; la segunda es realizar una cartografía de la cadena de valor actual; identificar una mejora al proceso productivo es la tercera etapa; desarrollar un VSM futuro la cuarta y la quinta es simular el proceso. A continuación, se describen más a detalle:

Tabla 1. Matriz de productos.

	ETAPAS DEL PROCESO					
	FORMAR	TROQUEL	CORTE	SACAR BASE	ARMAR COMBO	EMPAQUE
BISAGRA 43	X		X			X
TAPA 98	X	X	X			X
PASTEL T85	X		X	X	X	X
PASTEL T95	X		X	X	X	X
PASTEL T105	X		X	X	X	X

Fuente: Elaboración propia.

Selección de la familia de productos.

Debido a que la empresa maneja una gran cantidad de productos, se realiza una matriz colocando los pasos de ensamblaje del proceso en un eje, y los productos en otro eje como se observa en la Tabla 1.

Realizar una cartografía de la cadena de valor actual.

Después de haber seleccionado todos los PASTELEROS como la familia de productos, se hace uso de la herramienta cartográfica. La cartografía de la cadena de valor inicialmente sigue los pasos que se muestran en la figura 1, donde muestra el primer paso que es dibujar el estado actual, lo cual se hace recopilando información en el área de producción. Esto aporta la información que se necesita para desarrollar un estado futuro.

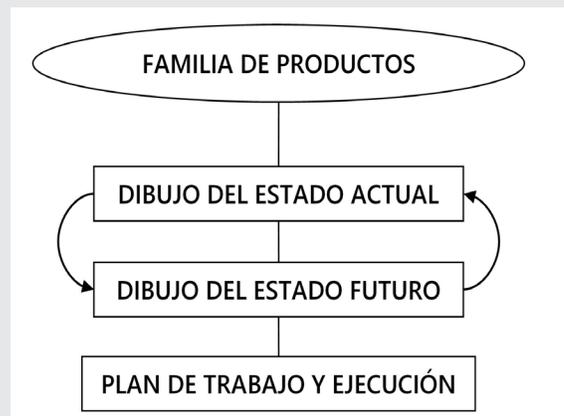


Figura 1. Etapas iniciales del trazado del mapa de una cadena de valor.

Identificar una mejora al proceso productivo.

Al conocer el proceso productivo resulta más fácil identificar alguna oportunidad de mejora, ya sea mediante la observación o mediante la evaluación de actividades que agregan valor al producto. El cual se puede identificar en la figura 2, ubicada en el apartado de anexos.

Desarrollar un VSM futuro:

El objetivo de este ejercicio es crear una cadena de producción en la que los procesos estén encadenados a uno o varios clientes mediante un flujo continuo o estableciendo un sistema de flujo hilado, y que cada proceso fabrique, en la medida de lo posible, solamente lo que sus clientes necesitan cuando lo necesitan.

Un examen cuidadoso del estado actual de la cadena de producción revela ciertos problemas Pueden ser grandes volúmenes de inventario, falta de conexión entre procesos o los plazos de entrega demasiados largos. El mapa de la cadena de valor futuro nos muestra cómo será el proceso al implementar alguna estrategia de mejora, a través de este podemos conocer cómo se conformará la modificación al proceso.

Para comprobación de resultados, no es posible aplicar la mejora directamente al proceso, debido a que no podemos detenerlo por cuestiones de retrasos o prioridades de producción, pero si podemos desarrollar una simulación del proceso la cual nos ayudara a conocer el comportamiento, ventajas y desventajas, o la viabilidad de dicho proceso. Lo anterior se puede apreciar en la figura 3, ubicada en el apartado de anexos.

Simulación de proceso.

La utilización de software de simulación es una de las más importantes herramientas para analizar el diseño y operación de sistemas o procesos ya sean desde los más simples hasta los más complejos, a continuación, se muestran las etapas que se utilizaron para desarrollar el proceso de simulación:

Colección de datos: Es muy importante que se definan con claridad y exactitud los datos que el modelo va a requerir para producir los resultados deseados. Para conocer el tamaño de la muestra se utiliza la siguiente ecuación estadística:

$$n = \left(\frac{40\sqrt{n' \sum x^2 - \sum(x)^2}}{\sum x} \right)^2 \quad \text{Ec (1)}$$

Dónde: *n* = Tamaño de la muestra, *n'* = Número de observaciones, Σ = Suma de los valores, *x* = Valor de las observaciones, 40 = Constante para un nivel de confianza de 94,45%. Al aplicar dicha fórmula obtenemos un total de 150 observaciones (datos a medir). observaciones (datos a medir). Obteniendo los siguientes datos.

Tabla 2. Datos estadísticos de la toma de tiempos para el proceso de fabricación de base.

	DATOS BASE T85		
	CONTEO Y EMBOLSADO	ARMAR CORRUGADO	EMPAQUE Y PALLETIZADO
MEDIA	30.92715232	10.00662252	31.26490066
MODA	27	10	31
DESV. EST.	6.058712006	1.920057946	4.175646835
MINIMO	20	7	24
MAXIMO	42	13	38

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Datos estadísticos de la toma de tiempos para el proceso de fabricación de base.

	DOMO PASTELERO T85			
	CONTEO	DESEMPACAR BASE	ARMAR COMBO	EMPAJAR
MEDIA	17.205298	63.41721854	18.9603	20.913907
MODA	10	45	27	19
DESV. EST.	4.63942221	18.70057312	5.8468	4.3786458
MINIMO	10	32	9	13
MAXIMO	25	94	28	28

Fuente: Elaboración propia.

Implementación del modelo en la computadora con el uso de un software.

Con el modelo definido, el siguiente paso es decidir si se utiliza algún lenguaje de programación o se utiliza algún paquete. En este caso se utiliza el simulador Arena°, el cual se puede apreciar en la figura 4, ubicada en el apartado de anexos.

Interpretación de los resultados obtenidos de la simulación:

Usage	
Instantaneous Utilization	Average
EMPACADOR 1	0.7522
EMPACADOR 2	0.7537
EMPACADOR 3	0.7530
EMPACADOR 4	0.7518
EMPACADOR 5	0.4567
EMPACADOR 6	0.4599
EMPACADOR 7	0.9196
EMPACADOR 8	0.9988

Figura 5. Resultados de simulación en Arena°.

En la figura 5 se observa que se simularon ocho empaques, de los cuales los primeros cuatro estuvieron tuvieron un 75% ocupación, los empaques 5 y 6 con 45% de ocupación, el empaque 7 con 91 % y el empaque 8 con 99% de ocupación.

RESULTADOS

Después de realizar VSM en las etapas actual y futuro, se logró reducir los tiempos de ocio del personal. La simulación permitió corroborar los resultados del VSM. Se logró aumentar la productividad que se tenía estimada en un 45% de forma general. Sin embargo, será

necesario cambiar las estrategias porque en dos empaques no fue posible aumentar esa productividad.

CONCLUSIONES

Para llevar a cabo el proceso de simulación se realizó una selección de la familia de productos en línea, en base a la detección de áreas de oportunidad, y se continúa con definición del método de toma de muestras. Después, la recolección de datos, enseguida con la elaboración de cartografía del valor actual, finalmente se proyecta la cartografía de valor futuro.

A causa de los conocimientos prácticos que se tienen del proceso se realiza el análisis, detección y corrección de fallas, para proyectar mejoras al proceso. Posteriormente, se realizó la programación en el software Arena®. Luego, se analizaron los resultados obtenidos en las diferentes etapas, conteo y embolsado, armado de corrugado, empaque y paletizado. Además, se realizó un plan de eliminación de tiempos muertos y se trabaja en la reducción de mermas tomando en cuenta los resultados anteriores.

Cabe señalar que existen actividades necesarias para el sistema o proceso, aunque no tengan un valor añadido, esto no lo señala la literatura convencional, siendo el aporte de este artículo. En este caso, estos excedentes tendrán que ser asumidos por la empresa.

Finalmente, se logró el incremento en el estándar de producción con respecto a los últimos valores obtenidos, aplicando un método de trabajo adecuado, de esta manera aumentando la eficiencia laboral del caso de estudio.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al C.A. de los Deptos. de Ing. Industrial del Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán y del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán de Ingeniería Industrial por las facilidades otorgadas.

BIBLIOGRAFÍA

[1] A. D. Viquez, A. P. Hernández, J. H. Ávila y M. G. C. García, «Impacto de la cadena de valor en el margen de utilidad bruta en la producción de destilados de agave.», *Revista Mexicana de Agronegocios*, vol. 40, pp. 551-560, 2017.

[2] C. E. Andrango Andrango y R. I. Yépez Moreira, «Costos predeterminados de producción y los procesos productivos de confección.», *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, pp. 5-17, 2020.

[3] A. Morales Varela, J. A. Rojas Ramírez, L. H. Hernández Gómez, Á. Morales González y M. Y. Jiménez Reyes, «Modelo de un sistema de producción esbelto con redes de Petri para apoyar la toma de decisiones.», *ingeniare.*, vol. 2, nº 23, pp. 182-195, 2015.

[4] A. M. Andrade, C. A. Del Río y D. L. Alvear, «Estudio de Tiempos y Movimientos para Incrementar la Eficiencia en una Empresa de Producción de Calzado.», *Información tecnológica*, vol. 3, nº 30, pp. 83-94, 2019.

[5] M. Marvel Cequea, C. Rodríguez Monroy y M. Núñez Bottini, «La productividad desde una perspectiva humana:», *Intangible Capital*, vol. 7, nº 2, pp. 549-584, 2011.

[6] R. Perez y E. A. Jorge, «Identifying and characterizing of wastes (muda) in transportation, processes, movements, and waiting time in nine manufacturing incorporating the perspective of the operational level.», *Ingeniare, Revista chilena de ingeniería*, pp. 496-408, 2011.

[7] A. M. Paredes-Rodríguez, «Aplicación de la herramienta Value Stream Mapping a una empresa embaladora de productos de vidrio.», *Entramado*, vol. 1, nº 13, pp. 262-277, 2017.

[8] A. Amador Gandia y M. García Cantó, «Cómo aplicar "Value Stream Mapping" (VSM),» *3C Tecnología*, vol. 2, nº 8, pp. 68-83, 2019.

[9] L. M. Ontiveros, I. R. Montoro y P. Á. Méndez, «Análisis del galvanizado en caliente de varillas de acero en Metalyzinc, SA de CV a través de un modelo de simulación con Arena para determinar la efectividad del proceso.», *Congreso Interdisciplinario de Ingenierías*, p. 16, 2018.

[10] C. Pocorey, F. Luis y M. Ayabe, «Sistema de producción Toyota TPS, Eficiencia en la producción a través de la reducción de improductividad en todos sus niveles.», *Revista tecnologica online*, pp. 28-31, 2017.

[11] R. Paredes y A. Mauricio, «Aplicación de la herramienta Value Stream Mapping a una empresa embaladora de productos de vidrio.», *Entramado*, pp. 262-277, 2017.

ANEXOS

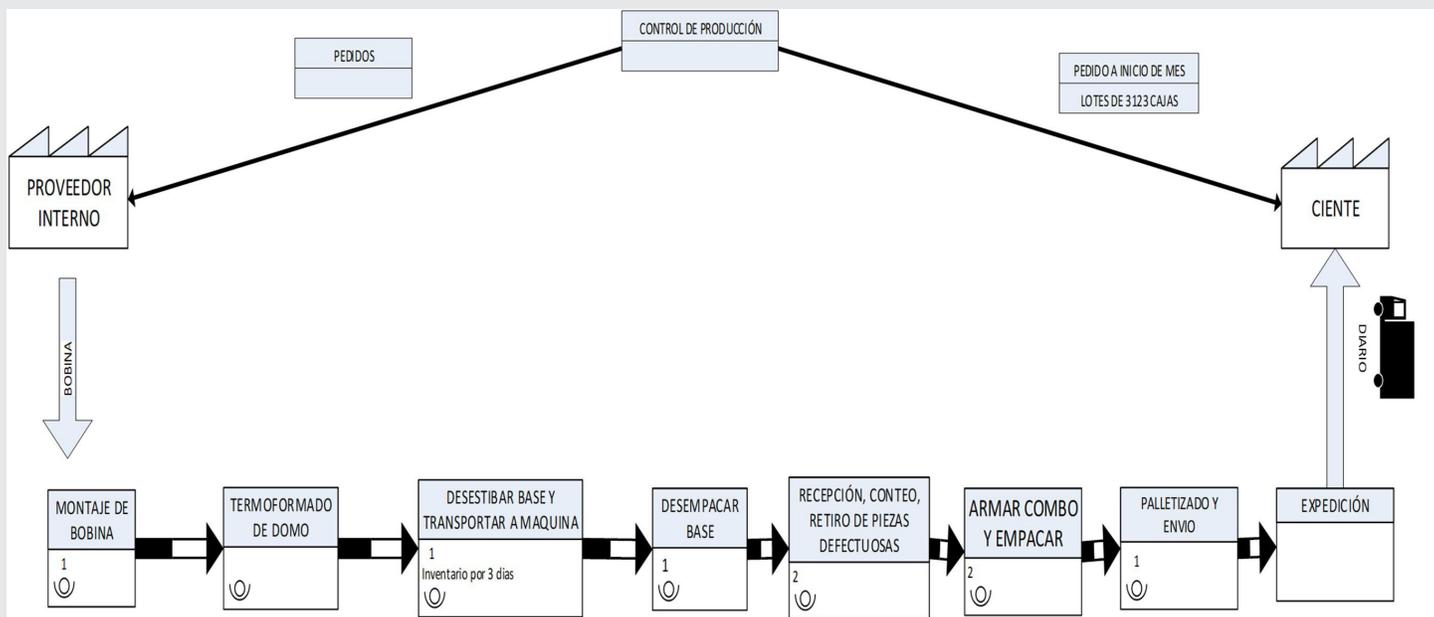


Figura 2. VSM del estado actual.

Fuente: Elaboración propia.

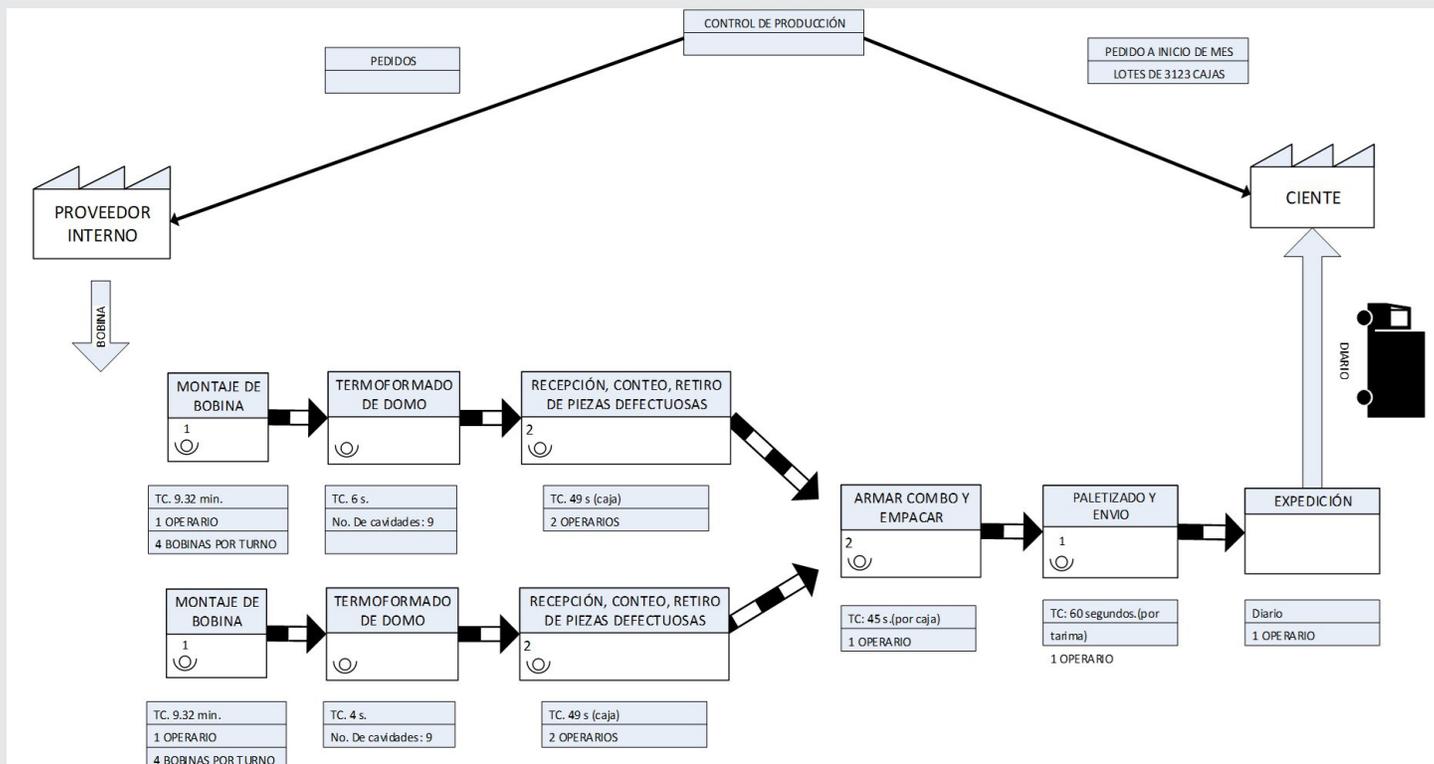


Figura 3. VSM del estado futuro.

Fuente: Elaboración propia.

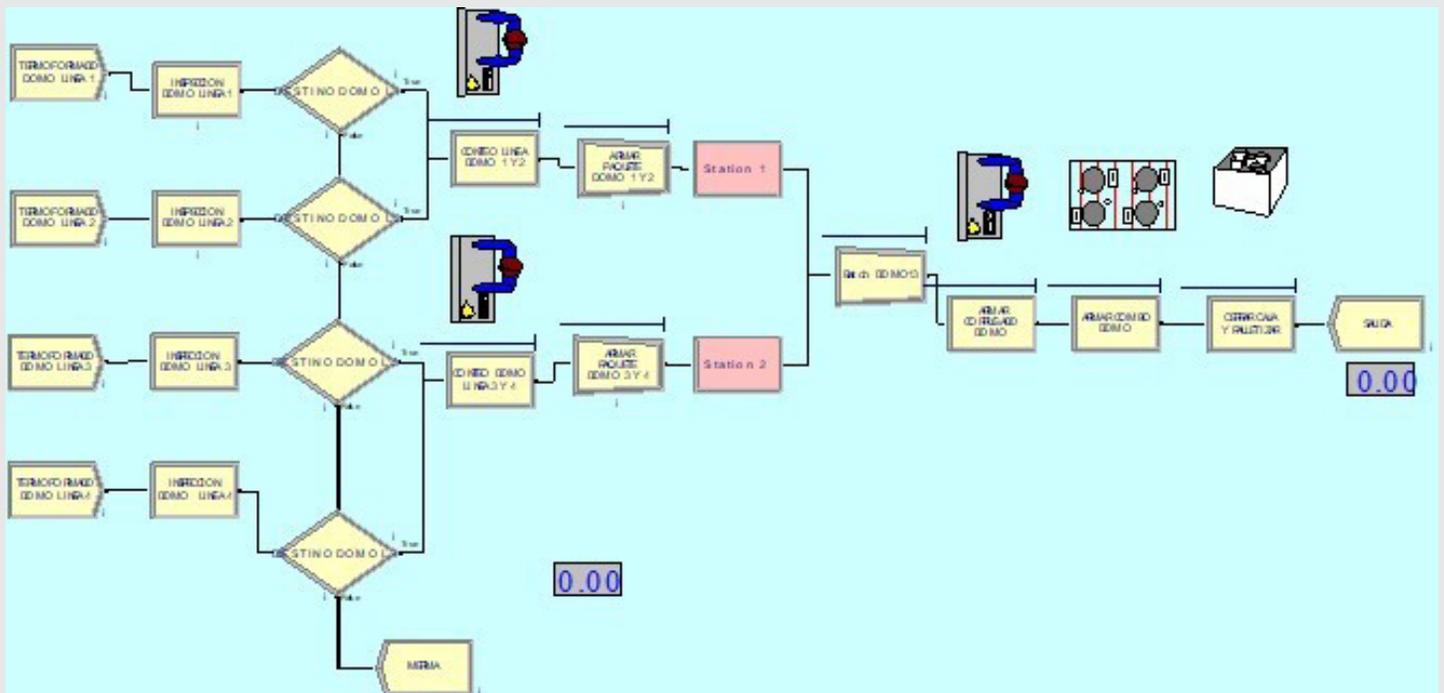


Figura 1. Número de turistas por zona urbana, 2014.



Calidad

y

Sistemas de Manufactura

Ingeniantes

Implementación de metodología 8D's en la empresa Qualtum Nafta S.A de C.V.



Colaboración

Nelly Ana Laura Jiménez Zúñiga; Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo; Sergio Serrano González, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo; Edgar Sarabia Lugo; Elizabeth Vázquez Estefes, Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo

Fecha de recepción: 08 de octubre de 2020

Fecha de aceptación: 11 de marzo del 2021

RESUMEN: Qualtum Nafta S.A de C.V. es una sorteadora que presta servicios a diferentes empresas dentro de la república mexicana, funcionando en todas estas como Outsourcing, prestando servicios de inspección de calidad. Es así como surge una problemática ante reclamo notificado por parte del cliente Aspel Molding, debido a que reporta rechazo de material a causa de 2 piezas marcadas con lápiz de cera color rojo (scrap) encontradas en la línea de producción. Es por ello que, a partir del análisis de la situación, se desarrolló la metodología 8D's, ya que permite disminuir el número de problemas dentro de la organización, mantener un mejor nivel del servicio a los clientes y mayor calidad en los productos suministrados, puesto que resuelve rápida y efectivamente los problemas de una forma permanente y documentada. De igual forma se realizó un manual de procedimientos para la elaboración de informe 8D's, obteniendo información detallada, ordenada, sistemática e integral que contiene todas las instrucciones, responsabilidades e información sobre políticas, sistemas y procedimientos de las distintas actividades a realizar en el proceso de resolución de la problemática. Resultando con la atención al 100% de los reclamos de los clientes y una reducción del 100% de reclamos en el periodo Octubre 2019 a Abril 2020.

PALABRAS CLAVE: Acciones correctivas, Reclamo, Cliente, metodología 8 D's, análisis

ABSTRACT: Qualtum Nafta S.A. de C.V. is a sorting company that provides services to different companies within the Mexican Republic, working in all of them as Outsourcing, providing quality inspection services. This is how a problem arises from a claim notified by the customer Aspel Molding, because it reports rejection of material due to 2 pieces marked with red wax pencil (scrap) found in the production line. For this reason, based on the analysis of the situation, the 8D's methodology was developed, since it allows reducing the number of problems within the organization, maintaining a better level of service to customers and higher quality in the products supplied, since it quickly and effectively solves the problems in a permanent and documented way. Similarly, a procedures manual was prepared for the preparation of the 8D's report, obtaining detailed, orderly, systematic and comprehensive information containing all the instructions, responsibilities and information on policies, systems and procedures for the different activities to be carried out in the problem-solving process. Resulting in 100% attention to customer complaints and a 100% reduction of complaints in the period October 2019 to April 2020.

KEYWORDS: Corrective actions, Claim, Client, 8 D's methodology, analysis

INTRODUCCIÓN

La empresa Qualtum Nafta S.A de C.V. dedica a prestar servicios a diferentes empresas dentro de la república mexicana, funcionando en todas estas como Outsourcing, ofreciendo servicios de inspección de calidad. Una de ellas es Aspel Molding donde se encuentra el área de inspección de calidad CSL 1 de piezas plásticas en el cual Qualtum Nafta S.A de C.V. suministra servicios de inspección de calidad en diferentes números de parte que procesa dicho cliente. Se han presentado diversos problemas de calidad en el producto liberado por parte de Qualtum Nafta S.A de C.V. donde el cliente Aspel Molding reporta rechazo de material a causa de 2 piezas marcadas con lápiz de cera color rojo (scrap) encontradas en la línea de producción, causando paro en dicha

área y la necesidad de llevar a cabo una contención de reinspección del material almacenado. Resulta que se decidió aplicar la metodología 8D's para analizar la situación de la empresa y conocer las problemáticas que influyen en la satisfacción de los clientes por medio de reuniones y Matriz de Riesgo, definiendo las causas de las problemáticas para buscar solución óptima de estas por medio de un diagrama causa-efecto, formando un equipo de resolución de problemas 8D's con personal experto para que propongan acciones contenedoras y correctivas al problema. Por lo que se realizó un manual de procedimientos para la elaboración de informe 8D's, obteniendo información detallada, ordenada, sistemática e integral que contiene todas las instrucciones, responsabilidades e información sobre políticas, sistemas y procedimientos de las distintas actividades a realizar en el proceso de resolución de la problemática, implementando herramientas de calidad necesarias para lograr combatir el reclamo del cliente, llevando a cabo metodología sin omisión de pasos en el informe 8D's con la colaboración del personal donde en algún momento pueda ser de su utilidad para resolver algún problema derivado a una insatisfacción del cliente.

Sustento Teórico

Las empresas para ser cada vez más competitivas deben estar enfocadas de forma permanente en la calidad, partiendo desde un elemento fundamental como la orientación hacia el cliente, así una inconformidad o insatisfacción por parte de éste, ya sea con el producto o el servicio que le brinden podría hacer perder a la empresa grandes oportunidades tanto en prestigio como en ingreso. Un problema en la empresa alterará los planes y actividades que orientaban a satisfacer los requerimientos de calidad previamente establecidos por los clientes.

Las 7 Herramientas de la calidad son un conjunto de metodologías que fueron reunidas por el Dr. Kaoru Ishikawa, con las cuales indica que el trabajo realizado será mucho mejor, de esta forma se encuentran ampliamente difundidas como forma de mejorar los procesos de las empresas. Estas herramientas se utilizan para definir, medir, analizar y proponer soluciones a los problemas que interfieren en el rendimiento y el resultado de las empresas. [1] Las cuales son Flujograma (Diagrama de Flujo), Diagrama Ishikawa, Hojas de verificación, Diagrama de Pareto, Histograma, Diagrama de Dispersión y Gráficos de control. [2]

Ocho disciplinas para el proceso de resolver un problema (8D)

Las 8 D's constituyen una metodología para resolver problemas de una manera sistemática y documentada, mediante el registro de las acciones tomadas en una serie de 8 pasos que son desarrollados por un equipo multidisciplinario. En general se emplea 8D's para la resolución de cualquier problema de no conformidad de los clientes, de reclamaciones de proveedores

o clientes, de problemas que se presentan de manera repetitiva por necesidad de abordar problemas en la visión de un grupo.

A continuación, se describe cada una de ellas:

D1: Formar un equipo identificando el potencial de mejora, especificar líder.

D2: Definir el problema presentando el motivo de conformar el equipo, claro y simplificado por medio de diagramas.

D3: Implementar acciones de contención sugiriendo acciones rápidas que permitan una solución inmediata al problema.

D4: Identificar y verificar la causa apoyados en herramientas que ayuden a encontrar las potenciales causas como la tormenta de ideas, 5W's (Los 5 ¿Por qué?) o Diagrama de Causa y Efecto. [3]

D5: Determinar acciones correctivas permanentes luego de verificar la causa raíz.

D6: Implementar y verificar las acciones correctivas permanentes con una hoja informativa considerando fechas y responsables.

D7: Prevenir la recurrencia del problema y/o su causa raíz verificando periódicamente que las acciones y controles han tenido un real impacto sobre el problema, llegando a su causa raíz con un AMEF, posterior a ello deben ser difundidas a la organización. [4]

D8: Reconocer los esfuerzos del equipo en reunión con todos los involucrados y queda documentado [5]

Al aplicar estas disciplinas cambia el enfoque total con el que trabaja una empresa, incrementando las habilidades de resolución de problemas en herramientas estadísticas, equipo, el uso mejorando, la visión empresarial [6]; teniendo un historial de problemas para evitarlos y la mejor comprensión acerca de la gestión de los problemas y su resolución. [7]

Manual de procedimientos

Los manuales son el conjunto de documentos que describen de forma detallada cada paso de una determinada actividad, proceso, operación o función que se realiza en la unidad organizativa, además contribuyen al logro de la independencia de los trabajadores en el desempeño de sus funciones. Se utilizan para organizar y administrar el funcionamiento de cada una de las operaciones y actividades que se realizan de manera homogénea y que cada dirigente, funcionario y trabajador las conozca; son una herramienta indispensable para toda empresa u organización, al permitirles cumplir con sus funciones y procesos de una manera clara y sencilla. [8]

El manual debe servir de medio de orientación e integración al personal de nuevo ingreso, facilitar su incorporación a las unidades administrativas, permitir el desarrollo de las actividades de manera sistemática, ordenada y proporcionar información básica. [9]

Reuniones o juntas de trabajo

Es una actividad de todos los días en una organización, y en el trabajo en equipo son las reuniones de trabajo. Algunas de las fallas más frecuentes en estas reuniones son: la falta de un objetivo concreto, importante y claramente definido a lograr, la alta dispersión, falta de participación de los asistentes, escasa habilidad de quien dirige la reunión, participantes que hablan demasiado, que no dejan hablar a los demás, reuniones muy largas, exceso de participantes y/o mal elegidos, etc.

MATERIAL Y MÉTODOS

En este proyecto la metodología de la investigación está basada en estudios descriptivos, los cuales indica que buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de los procesos u objetos basados en el análisis, la medición, evaluación, recolección de datos, aspectos, dimensiones y componentes del fenómeno a investigar, por lo cual en este caso fue la aplicación de la metodología 8 D's, en la empresa Qualtum Nafta S.A de C.V. Con un enfoque mixto el cual indica que es un proceso que recolecta, analiza y vincula datos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio para responder al planteamiento del problema. Con un diseño de investigación longitudinal que es "ideal para establecer el orden temporal, medir cambios y hacer las interpretaciones casuales solidas que se requieren en el método", pues este estudio fue realizado en el transcurso del año 2019 del mes Octubre al mes de Abril del 2020.

Por otra parte, el diseño experimental está basado en planes y actividades para encontrar la validez de la hipótesis y verificar si es que la metodología reducirá retrasos para encontrar la causa raíz de las problemáticas notificadas como reclamos por parte del cliente; por lo tanto, a continuación, se van a describir las actividades llevadas a cabo para verificarlo.

Analizar la situación de la empresa para conocer las problemáticas que influyen en la satisfacción de los clientes por medio de reuniones y Matriz de Riesgo.

El análisis de la situación en que se encuentra la empresa es de suma importancia, ya que ayuda a saber dónde están recayendo las fallas ante la satisfacción del cliente.

Con la ayuda de la aplicación de Matriz de Riesgos, la figura 1 representa el diagrama de flujo de un análisis de riesgos, considerada una herramienta que ayuda a conocer las problemáticas que aqueja a la empresa de manera cuantitativa, dando valores significativos con calificaciones correspondientes para las problemáticas.

Diagrama de flujo

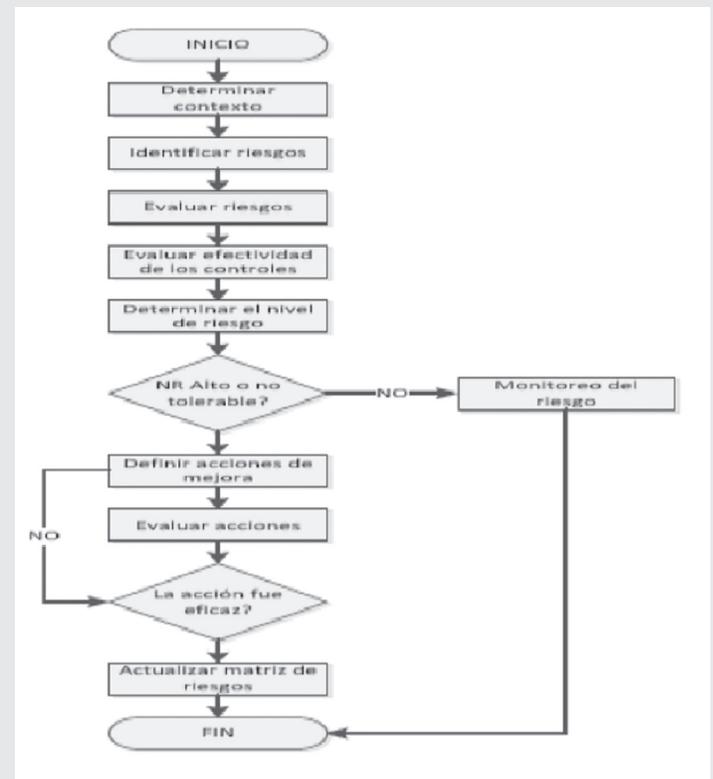


Figura 1. Diagrama de flujo "Análisis de riesgo"

Se explica a detalle cada uno de los puntos del desarrollo plasmado en el diagrama de flujo al igual que algunas tablas de medición que sirven como ayuda para evaluar en la Matriz de riesgos.

DESARROLLO

Determinar contexto

El responsable del sistema de gestión, coordinadores, junto con la alta dirección definen el contexto de la organización y las necesidades de las partes internadas mismas que pueden ser aprovechadas para identificar los riesgos de la organización.

Identificación de riesgo

Con el fin de conocer los sucesos o las situaciones que pudiesen presentarse y afectar al logro de los objetivos del sistema, los líderes de área deberán identificar los riesgos utilizando la Matriz de Riesgos.

La evaluación de riesgos se realiza por proceso en el formato Matriz de Riesgos (F-SGC-23).

La identificación y/o actualización de la matriz de riesgos se deberá realizar cada 6 meses de manera permanente. Si existiera alguna acción correctiva, cambios en la organización, la política, en el sistema de gestión de calidad, así como algún tipo de hallazgo o situación que pueda afectar o modificar el funcionamiento de la empresa o el sistema.

Evaluar riesgo

El riesgo se evalúa analizando la probabilidad y severidad de que el riesgo falle.

La calificación del riesgo (RC) se obtiene al multiplicar la evaluación de la probabilidad con severidad.

$$RC = P \times S \quad \text{Ec. (1)}$$

Evaluar la efectividad de los controles (EC).

Se describen si existen controles para el riesgo a tratar. Determinar el nivel de riesgo (NRF).

El nivel de riesgo se obtiene al restar la evaluación del control contra el nivel del riesgo (NR).

$$NRF: NR - EC \quad \text{Ec. (2)}$$

En casos donde se obtiene una calificación con Nivel de riesgo Alto o No Tolerable, entonces a este se le deben aplicar acciones de mejora.

Definir acciones de mejora

En esta etapa se deberán definir las acciones y controles, para los riesgos detectados como alto o no tolerable, designar un responsable para su seguimiento y definir fecha de compromiso para su realización, sin tomar en cuenta la probabilidad de su ocurrencia.

Registro de los reclamos

Se realiza un registro de reclamos diarios obtenidos por los clientes para lo que en el primer mes se obtiene un reclamo el cual tiene afectaciones en los diversos procesos de la organización; teniendo un impacto como se observa en la siguiente figura.

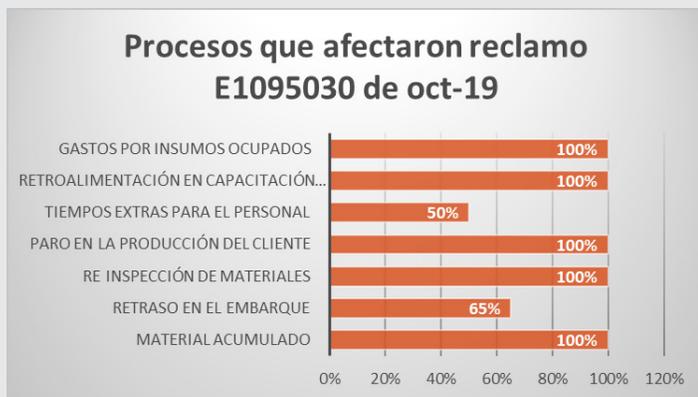


Figura 2. Procesos que afectaron el reclamo E1095030

Procesos que afectaron el reclamo

Se observa que impacta al 100% en los gastos por insumos ocupados, retroalimentación en capacitación, de igual forma en el paro de la producción del cliente, así como en la reinspección de materiales y los materiales acumulados, afectando los inventarios, al igual que los costos implicados en este. Por otra parte, afecta en un 50% el proceso de los tiempos extra para el personal y en un 65% el proceso de retraso en el embarque. Por

lo tanto, se puede observar que tiene un gran impacto en los diversos procesos de la organización tan solo al tener un reclamo de los clientes, es así como se decide la aplicación de la metodología descrita en este artículo.

Definir las causas de las problemáticas para buscar solución óptima de estas por medio de un diagrama causa-efecto.

Después de obtener el problema bien definido el grupo de colaboradores aplica el diagrama de causa-efecto que ayuda a la búsqueda de las causas principales por las que se dio el problema.

Formar un equipo de resolución de problemas 8 D's con personal experto para que propongan acciones contenedoras y correctivas al problema.

Por otra parte, al obtener las causas principales del problema para empezar a realizar la metodología 8D's el director de operaciones menciona a los colaboradores convocados, tomando en consideración a personas involucradas y con alto conocimiento del tema para desarrollar acciones de mejora inmediatas o bien que ya hayan tenido algún enfrentamiento similar a la situación de reclamos por parte de los clientes.

Proponer una acción contenedora para la solución del problema en el corto plazo.

Después que está conformado el equipo de resolución 8 D's se atienden las acciones de contención Side Part (E1095030), ya que es importante para que el problema sea controlado lo antes posibles. El cliente no acepta el material y solicita que se realice inspección a lo que se tiene en línea de producción, donde se encontró el defecto, y a lo que se encuentra en almacén, donde específicamente realizaron la inspección por la condición de pieza rayada con lápiz de cera color rojo, supuesto que es el defecto por el que se rechaza todo el material.

Proponer una acción correctiva para la solución del problema de manera definitiva.

Después de haber realizado el análisis para definir las causas de las problemáticas es necesario documentar la metodología para entrega al cliente, el cual se realiza con la transferencia de datos en un Análisis causa raíz, denominado diagrama-causa Side Part (E1095030) donde definimos cada una de las causas, ya sean ocurrencia o no detección que es como el cliente solicita la clasificación para saber por qué ocurrió y por qué no se detectaron las piezas rechazadas al igual que cada causa con cada M que se definió por el grupo de colaboradores. También incluye el estándar de cómo es que se debe realizar la acción y los valores reales que sucedieron al generar el reclamo del cliente, los cuales fueron reflexionados y visualizados en piso.

Acción correctiva para las causas de ocurrencia

1. No se respetó el flujo de inspección por que la base no es ergonómica. Para esta causa se propuso la siguiente acción correctiva.

- Modificar la base de mesa de inspección a modo de que sea más ergonómico para el inspector.
 - Reajustar layout de flujo de inspección.
2. El inspector que empaqueta no verifica que las piezas están libres de marca roja. Para esta causa se propuso la siguiente acción correctiva.
- Generar ayuda visual para capacitar al empaecedor.
 - Realizar check list al empaecedor en cualquier horario durante la jornada laboral.

Acción correctiva para las causas de no detección

1. Falta de capacitación Para esta causa se propuso la siguiente acción correctiva.

- Generar capacitación general del adecuado manejo del área y flujo de inspección.
2. Falta de iluminación idónea para el área de empaque.
- Adaptar una lámpara de lado derecho de la mesa de inspección dirigida al área de empaque.

En la Figura 3 representa la Evaluación a empaecedor en cualquier horario durante la jornada laboral, para verificar que no omita ningún paso con respecto a la ayuda visual que se le colocó en la mesa de inspección.



Figura 3. Evaluación a empaecedor

En la Figura 4 representa la Capacitación al inspector del adecuado manejo del área y flujo de inspección que se debe realizar en la mesa de inspección con la ayuda de diseño de layout de flujo de inspección correcto como lo muestra la Figura 5 Flujo de inspección.



Figura 4. Capacitación al inspector

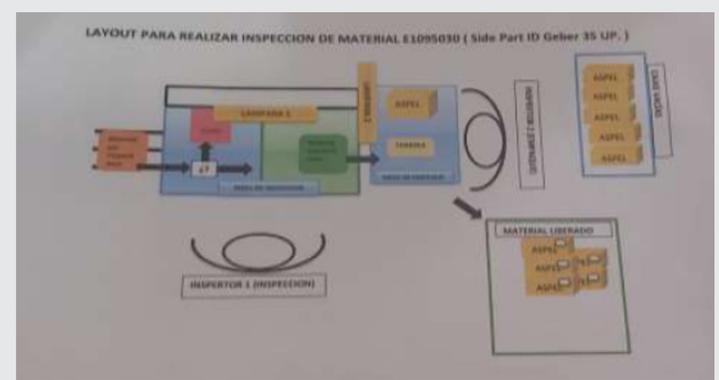


Figura 5. Flujo de inspección

Para prevenir la recurrencia del reclamo se revisará y actualizará la documentación del producto y del proceso teniendo como fuente de información la falla que se resolvió en los pasos anteriores. El flujo de inspección y Sep Up de inspección deben estar actualizados e integrados en la carpeta de documentación CSL 1 con el fin de prevenir una recurrencia del problema. Es así como se usa la tabla 1 para Prevenir recurrencia del problema Side Part (E1095030) donde indica la actualización que se le realizó al documento presentado y denominado Sep Up de inspección Side Part E1095030.

Tabla 1. Prevenir recurrencia del problema Side Part (E1095030)

QUALTUM		PREVENIR RECURRENCIA	
quality partner			
Disciplina 7. Prevenir recurrencia del problema			
Actualizar documentación del producto y del proceso			
DOCUMENTO	APLICA SI/NA	FECHA	INDIQUE EL CAMBIO EN EL DOCUMENTO
Flujo de inspección	Si		Ubicación del material por inspeccionar y liberado
Instrucción de trabajo	N/A		
Sep up de inspección	Si		Se anexa defecto nuevo derivado por el reclamo
		Gerente de la planta	Director General Coordinador

Fuente: Equipo de resolución 8 D's de Qualtum Naffa S.A de C.V.

Para concluir se realiza el reconocimiento al equipo de resolución 8 D's de Qualtum Naffa S.A de C.V. por la atención prestada al reclamo que el cliente generó, quedando documentado en la tabla 2 donde reconoce los esfuerzos del equipo, realizando una junta para conocer las lecciones aprendidas por cada uno de los miembros del equipo como se muestra en la Figura 6 Reconocimiento para el equipo de resolución 8 D's.

RECONOCIMIENTO

Siempre analizar y estudiar los beneficios que se pueden tener al controlar variables del proceso que pue-

dan dar información oportuna sobre la incidencia de alguna desviación.

Archivo: Reclamo del cliente por que reporta 2 piezas marcadas con lápiz de cera color rojo (scrap)

Diseño de manual para aplicar la metodología enfocada en la solución de problemas de calidad

A continuación, se describen las características de un contenido para el diseño del manual de procedimiento:

Portada: Contiene logotipo de la empresa Qualtum Nafta S.A de C.V. y nombre del área que realizo el manual junto con fecha.

Tabla 2. Reconocer los esfuerzos del equipo

 <p style="text-align: center;">RECONOCIMIENTO</p>					
Disciplina 8. Reconocer los esfuerzos del equipo					
Equipo para resolver problemas					
Líder del equipo	Puesto:	Gerente de Operaciones	Número de teléfono:	email:	Firma:
Miembro del equipo:	Puesto:	Coordinador	Número de teléfono:	email:	Firma:
Miembro del equipo:	Puesto:	Supervisor (a)	Número de teléfono:	email:	Firma:
Miembro del equipo:	Puesto:	Supervisor (a)	Número de teléfono:	email:	Firma:
Miembro del equipo:	Puesto:	Lider	Número de teléfono:	email:	Firma:
Lecciones aprendidas					
Siempre analizar y estudiar los beneficios que se pueden tener al controlar variables del proceso que puedan dar información oportuna sobre la incidencia de alguna desviación					
Archivo: Reclamo del cliente por que reporta 2 piezas marcadas con lápiz de cera color rojo (scrap)		Fecha:	Octubre 2019	Alta dirección	

Fuente: Equipo de resolución 8 D's de Qualtum Nafta S.A de C.V.



Figura 6. Reconocimiento para el equipo de resolución 8 D's

Diseño de manual para aplicar la metodología enfocada en la solución de problemas de calidad

A continuación, se describen las características de un contenido para el diseño del manual de procedimiento:

Portada: Contiene logotipo de la empresa Qualtum Nafta S.A de C.V. y nombre del área que realizo el manual junto con fecha.

Índice: Es la relación de los capítulos o apartados que constituyen el cuerpo del documento.

Introducción: Se realiza la explicación del contenido del manual de procedimientos para la elaboración de informe 8 D's

Objetivo: Explicar el propósito que se pretende cumplir con el procedimiento.

Encabezado: Hace referencia a todas las paginas donde inicia una parte del procedimiento, la tabla 3 presenta como es el Encabezado de manual.

Tabla 3. Encabezado de Manual

Logotipo de la empresa	Procedimiento	Código:
		Fecha:
		Versión:
Nombre del procedimiento		Pagina
Unidad administrativa:		Área responsable:

Fuente: Guía técnica para la elaboración de manuales de procedimientos

Propósito: Describe la finalidad o razón de ser de un procedimiento o que es lo que persigue con su implementación.

Alcance: Se coloca como y a qué departamento ayudara la aplicación del manual, así como los puestos y actividades que involucra.

Referencia: Se enlista la documentación de apoyo que se utilizó para el procedimiento.

Responsables: Área, unidad administrativa o puesto que tiene a su cargo la preparación, aplicación o ambas cosas del procedimiento.

Políticas y lineamientos: Criterios o líneas de acción que se formulan de manera explícita para orientar y facilitar el desahogo de las operaciones que llevan a cabo las distintas instancias que participan en el procedimiento.

Diagrama de flujo: Representación gráfica del procedimiento a seguir para la elaboración del manual de procedimientos para la elaboración de informe 8 D's

Anexos: Coloque todos los documentos de apoyo adicional que se deben tomar en cuenta para realizar una actividad.

RESULTADOS

La empresa Qualtum Nafta de S.A de C.V. lo que pretende con el diseño del manual de procedimientos es el seguimiento de correcto llenado del informe 8 D's para la resolución de problemas que notifique el cliente, con esto la figura 7 representa el Manual de procedimiento para la elaboración de informe 8D's muestra el manual realizado.

Situación de la empresa respecto a problemáticas que influyen en la satisfacción de los clientes.

Tomando en cuenta el nivel máximo de riesgo que establece el procedimiento Gestión del Riesgo dando como resultado 25 puntos, se pudo analizar que el ries-

go principal por el que estaba pasando Qualtum NAFTA S.A de C.V. en la empresa Aspel Molding es de 18 puntos por el cual ya es perteneciente a nivel alto como se muestra en la Figura 8 Grafica de análisis de riesgo ante un reclamo por parte del cliente, donde debe ser contrarrestado de manera inmediata con metodología de las 8 D's ya que se ha cerca al nivel de riesgo máximo no tolerable.

satisfactoriamente la problemática presentada para la empresa Qualtum NAFTA S.A de C.V. considerando las habilidades que posee cada una de las personas y compromiso. Especialmente tomando en cuenta los conocimientos de las actividades, métodos y procedimientos que se aplica con la inspección de los materiales del cliente Aspel Molding se integró el grupo de resolución de problemas 8 D's.

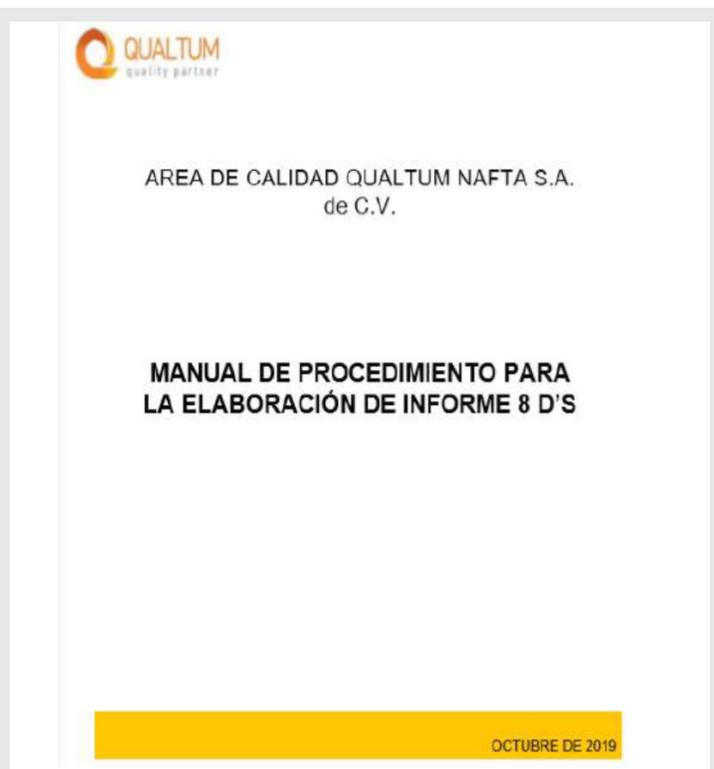


Figura 7. Manual de procedimiento para la elaboración de informe 8D's

Acción contenedora para solucionar problemas a corto plazo

Para realizar las acciones de contención se tuvieron que tomar tiempos acordes a las fechas establecidas por el cliente donde eficazmente se logró contener el problema en el transcurso de las primeras 24 horas gracias al apoyo y coordinación del grupo de resolución de problemas 8 D's como muestra en Figura 9 Gráfica de cumplimiento de contención al 100% realizando la contención de material almacenado y difusión de alerta de calidad a los inspectores en tiempo y forma.

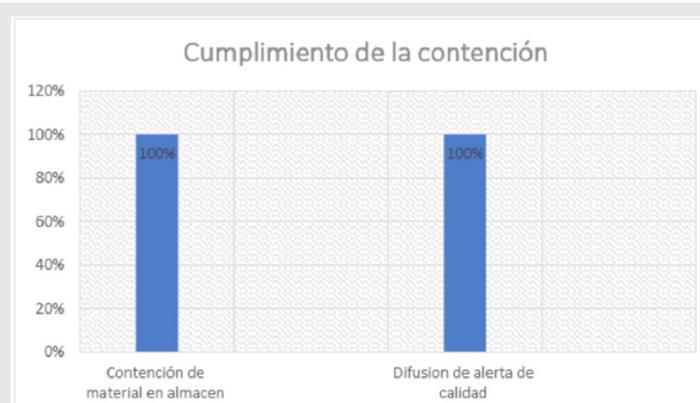


Figura 9. Grafica de cumplimiento de contención



Figura 8. Grafica de análisis de riesgo ante un reclamo por parte del cliente

Integración de equipo de resolución de problemas 8D's

El equipo de resolución de problemas se integra con personal que tenga conocimientos del proceso/producto, con tiempo asignado, autoridad en realizar propuestas de mejora para el beneficio de resolver

Desde que se notificó el reclamo por parte del cliente se empezó a tener diversos problemas como la alerta de calidad, gastos monetarios, falta de equipo de resolución de 8 D's, inspecciones ineficientes, falta de análisis de causa raíz, contención de material E1095030 en almacén, falta de acciones correctivas, falta de procedimiento de informe 8D's para iniciar a resolver la problemática donde en la Figura 11 se observa la comparación de solución de problemas de octubre a diciembre; en donde se puede observar que del mes de octubre 2019, fecha en la cual se notifica el reclamo, hubo una disminución a Diciembre 2019 que son los meses hábiles en los cuales se lleva un seguimiento y cierre satisfactorio del reclamo, ya que se atendió correctamente. Manteniéndose así hasta el mes de Abril del 2020, que es el periodo en el que se lleva a cabo la medición e implementación de esta metodología.

Resultando con la atención al 100% de los reclamos de los clientes y una reducción del 100% de reclamos del mes de Octubre 2019 a Abril 2020.

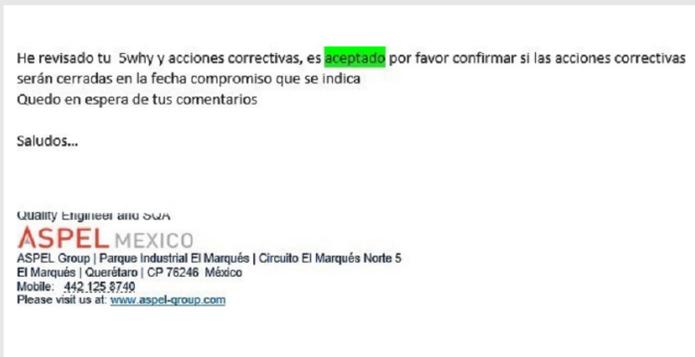


Figura 10. Correo de aceptación

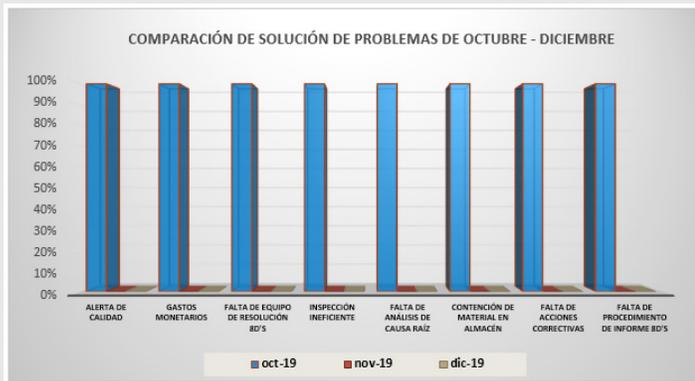


Figura 11. Comparación de solución de problemas de Octubre - Diciembre

Impacto

Económico, se genera en la omisión de gastos por respuesta tardía en la resolución de la problemática notificada al cliente en tiempo y forma.

Social, se logra generar procedimiento de metodología 8 D's para ser aplicadas por cualquier grupo de resolución de problemas que se enfrente a algún reclamo por parte del cliente obteniendo resultados favorables.

CONCLUSIONES

En la empresa Qualtum Nafta S.A de C.V la toma de decisiones para la probable resolución de un problema, fue un factor determinado por equipo de resolución de problemas 8D's con el grado de liderazgo, eficiencia, tiempo y conocimiento en el tema de resolución de problemas. Por lo que es bueno contar con una metodología 8D's para la solución de problemas, favorece el crecimiento, así como el desarrollo de la organización y del producto, ya que identifica correctamente los orígenes del problema, organizando la información y secuencia de pasos a seguir para resolver problemáticas con los clientes.

BIBLIOGRAFÍA

[1] De la Guerra, J. (2015). *Las siete herramientas de la calidad*, Perú. Editorial Universidad para el Desarrollo Andino.

[2] Gutiérrez, H. (2013). *Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma*. México 3era. Edición. Mc Graw Hill.

[3] Escadia, I. Jara, P. & Letzkus, M. (2016) *Mejora de procesos productivos mediante Lean Manufacturing*. Santiago. UTEM. Trilogía. Facultad de administración y economía.

[4] Montalban, E. Arenas, E. Talavera, M. & Magaña, R. (2015). *Herramientas de mejora AMEF (Análisis del Modo y Efecto de la Falla Potencial) como documento vivo en un área operativa. Experiencia de aplicación en empresa proveedora para Industria Automotriz*. Revista de aplicación de la Ingeniería. Querétaro. Universidad Tecnológica de Querétaro.

[5] Laguna, A., Martínez, S., Serrano, A., & Hernández, J. (2017). *Aplicación de las 8 Disciplinas en la optimización del proceso de pegazulejo*. Revista de Investigación y Desarrollo.

[6] Izaguirre, J. & Párraga M. (2017). *Aplicación de las metodologías 8D y AMEF para reducir fallos en una fábrica de refrigeradoras*. Industrial Data. Perú.

[7] Bosch Group. (2013). *Problem Solving. Quality Management in the Bosch Group*. Robert Bosch Booklet,

[8] Pérez, J., & Lanza, E. (2014). *Manuales de procedimientos y el control interno: una necesaria interrelación*.

[9] Vargas, A. (2015). *Lineamientos para la Elaboración de Manuales de Procedimientos*. Oaxaca: Subsecretaría de Desarrollo, Control de la Gestión Pública y Recursos Humanos - Dirección de Modernización Administrativa.



Calidad

y

Sistemas de
Manufactura

Ingeniantes

Efecto de las bajas temperaturas en la germinación in vitro de Bromelia (*Tillandsia bourgaei*)

RESUMEN: La familia de las Bromeliaceae se encuentran mayormente en el continente americano; en México, esta familia tiene gran presencia en los bosques mesófilos de montaña así como en los bosques de *Quercus*; Debido a que las bromelias poseen una gran importancia de índole económica para las distintas comunidades rurales y al ser consideradas por la autoridad como un recurso forestal no maderable susceptible de aprovechamiento, así como la tala del bosque mesófilo de montaña (BMM), se ha provocado una sobre explotación en esta especie.

El trabajo de investigación para evaluar el efecto de las bajas temperaturas en la germinación in vitro de Bromelia fue realizado en el Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en Zacatepec en el estado de Morelos, México.

El documento incluye todo el proceso llevado a cabo en el laboratorio, desde el establecimiento aséptico de la semilla, hasta la observación en microscopio del crecimiento de plántulas de la Bromelia (*Tillandsia bourgaei*).

Los resultados reflejaron que el almacenaje de las semillas a baja temperatura por 30 días, influye en la germinación, acelerando la aparición de primeras hojas y el desarrollo de las plántulas, no ocurriendo así en la formación de los callos.

PALABRAS CLAVE: Bromelia (*Tillandsia bourgaei*), cultivo in vitro, germinación, medio de cultivo MS, semillas.



Colaboración

Yesenia Keymi Mejía Santiago; Elizabeth Kenia Mejía Santiago; Fernando Isael Alvear Salazar; Carlos Arturo Loyola Torres, Universidad Tecnológica del Sur del Estado de Morelos

Fecha de recepción: 11 de febrero de 2020

Fecha de aceptación: 4 de mayo del 2021

ABSTRACT: The Bromeliaceae family is mainly found in the American continent. In México, this family has a great presence in tropical montane cloud forests as well as in *Quercus* forests. Due to bromeliads have a great economic importance for different rural communities and being considered by the authority as a non-timber forest resource susceptible to use, as well as the felling of the tropical montane cloud forest (TMCF), it has caused an over-exploitation in this species.

This investigation shows a scientific research carried out at the Plant Tissue Cultivation Laboratory at the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) in Zacatepec, Morelos, Mexico with the objective of evaluating the effect of low temperatures on in-vitro germination of bromeliad *Tillandsia bourgaei*.

This document includes the whole process carried out in the laboratory, from the aseptic establishment of the seed, to the microscopic observation of the growth of seedlings of bromeliad *Tillandsia bourgaei*.

The results showed that a storage of the seeds at a low temperature for 30 days, positively influences the germination, accelerates the appearance of the first leaves and development of the seedlings, thus not occurring in the formation of the callus.

KEYWORDS: in vitro culture, germination, MS culture medium, seeds.

INTRODUCCIÓN

La familia de las Bromeliaceae se encuentran mayormente en el continente americano; en nuestro país, esta familia tiene gran presencia en los bosques mesófilos de montaña así como en los bosques de *Quercus*; algunas especies tiene un gran valor

comercial y por lo tanto económico, entre las especies que tienen estas características se encuentran la piña (*Ananas sativus*), el timbiriche (*Bromelia spp*), la pita (*Aechmea magdalenae*) y el heno (*Tillandsia usneoides*) [1][4].

Debido a que las bromelias poseen una gran importancia de índole económica para las distintas comunidades rurales y al ser consideradas por la autoridad como un recurso forestal no maderable [2] susceptible de aprovechamiento, así como la tala del bosque mesófilo de montaña (BMM), se ha provocado una sobre explotación en esta especie [3], ya que algunas personas que se dedican a su venta para uso ornamental, utilizan métodos de propagación en donde implica extraer a las bromelias de su lugar de origen lo que ha provocado un descontrol biológico.

La especie de *Tillandsia bourgaei* requiere de una condición de humedad para poder germinar y en consecuencia sobrevivir, es por esto que se propaga en regiones con una altitud entre los 600 y los 3100 msn [2] [5] con lo que se convierte en una planta endémica. En Morelos existe la Cuenca Alta del Balsas que pertenece a un bosque mesófilo de montaña (BMM), en la cual se delimitaron cinco subregiones con base en las cuencas hidrográficas, así como la distancia entre los bosques [3], por lo que la especie de *Tillandsia bourgaei* tiene una fuerte presencia en los municipios de Cuernavaca, Puente de Ixtla, Tepoztlán y Tlayacapan, todos pertenecientes al estado de Morelos, desafortunadamente se ha catalogado como una especie en peligro de extinción (P), lo cual, según [6] es “aquella cuya área de distribución o tamaño de su población en el territorio nacional ha disminuido drásticamente poniendo en riesgo su viabilidad biológica en todo su hábitat natural, debido a factores tales como la destrucción o modificación drástica del hábitat, aprovechamiento no sustentable, enfermedades o depredación, entre otros”.

Dentro del catálogo de especies en riesgo publicado por [6], existen varias pertenecientes a la familia Bromeliaceae y el género *Tillandsia* que se encuentran bajo amenaza o incluso en peligro de extinción.

Para acelerar la propagación de esta planta sin alterar su ciclo biológico y sin afectar a la misma, se implementó un método de cultivo in vitro como lo sugiere [7], en el cual bajo factores controlados de laboratorio como son la temperatura, luz y medio de cultivo adecuado, se propuso como objetivo propagar esta especie hasta en un 94% de efectividad, medida a través de una tasa de germinación dando como resultado, un buen índice de hojas verdaderas y plántulas.

El objetivo general de esta investigación fue evaluar las bajas temperaturas en la germinación in vitro de *Tillandsia bourgaei*.

Como objetivos específicos se establecieron los siguientes:

1. Determinar el índice de contaminación (por hongo y bacteria) en *Bromelia (Tillandsia bourgaei)*.
2. Evaluar el tiempo y porcentaje de germinación en la *Bromelia (Tillandsia bourgaei)*.

Es de vital importancia el trabajar con técnicas de propagación que sean sustentables con el proceso de vida de la bromelia, debido a su importancia ecológica, medicinal, ornamental, ecológica y social.

MATERIAL Y MÉTODOS

Esta investigación se realizó como parte del periodo de estadía profesional en las instalaciones y bajo la colaboración del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en la comunidad de Zacatepec, Morelos, la cual se desarrollaron las etapas que se mencionan a continuación:

1. Selección de las semillas y almacenamiento.

Se seleccionaron las mejores semillas de *Bromelia (Tillandsia bourgaei)*, de forma manual, considerando la inflorescencia madura y abierta (Figuras 1 y 2), así mismo se tomó en cuenta, que las semillas estuvieran completas, llenas y sin pudrición o daños por insectos.



Figuras 1 y 2. Inflorescencia madura de *Tillandsia bourgaei* (izq.) y semillas recién cosechadas (der.)

Se separaron las semillas de su vilano plumoso para evitar la presencia de agentes que favorecieran la contaminación durante la germinación [8]. Todas las semillas cosechadas se separaron en dos grupos de 150 utilizando costales de tela.

A fin de poder cumplir con los objetivos de la investigación, se consideró el almacenamiento de la semilla de bromelia para evaluación de germinación bajo dos temperaturas, la primera a 25°C (temperatura normal-promedio en el municipio de Zacatepec), y la segunda a 2°C (temperatura baja). Para la realización de este almacenamiento, se tomó como base lo establecido por [9].

El almacenamiento se llevó a cabo dentro de bolsas de plástico, con cierre tipo ziploc, para una mejor manipulación en el experimento (Figuras 3 y 4).



Figuras 3 y 4. Selección de semillas y almacenamiento de semilla

2.Preparación del medio de cultivo a mitad de sales (MS).

El medio de cultivo es parte vital para la propagación de cultivos in vitro; para el estudio se preparó el medio a mitad de sales (MS), de acuerdo al estudio probado y validado por el INIFAP.

Para proporcionar el mínimo de nutrientes requeridos en la germinación in vitro de la bromelia, se preparó un litro de medio de cultivo Murashige y Skoog a mitad de sales, considerando los componentes que se presentan en la tabla 1.

Tabla 1: Preparación medio de cultivo (MS)

Soluciones de Murashige y Skoog a mitad de sales	Concentración
Coctel II	10 mL/L
Sacarosa	30 g/L
BA	10 mL/L
ANA	1 mL/L
Carbón activado	1.5 g/L
Agar Merck	9.5 g/L
pH	5.7

Para un litro de medio de cultivo se pesaron 30 g de sacarosa, 9.5 g del polisacárido agar y 1.5 g de carbón activado (Figuras 5, 6 y 7).



Figuras 5,6 y 7. Uso de balanzas analíticas para preparación de medios de cultivo.

En un agitador magnético (Figuras 8 y 9) se colocó un recipiente de 1000 mL con 200 mL de agua estéril para la disolución de la sacarosa, las soluciones madre, y el carbón activado.



Figuras 8 y 9. Agitador magnético y Soluciones madre I-V, BA, ANA y Coctel II.

Se aforó a un litro con agua desionizada en una probeta de 2000 mL (Figura 10); con el apoyo de un potenciómetro (Figura 11) se ajustó a un pH de 5.7, agregando para ello soluciones de NaOH a 1,0 N y HCl a 1,0 N.



Figuras 10 y 11. Probeta de 2000 mL y potenciómetro

Para la preparación del medio (MS) se utilizó un matraz Erlenmeyer de dos litros, se agregaron 7.5 g/L de Agar Merck®. Se calentó a 70 °C, y una vez logrado el punto de ebullición, se retiró de la estufa con equipo de seguridad (Figura 12 a), después se sirvió en 33 frascos de vidrio esterilizados y secos (Figura 12 b) con ayuda de una probeta y una jarra, el volumen agregado a cada frasco fue de 10 mL (Figura 12 c).



Figura 12. (a) Medio de cultivo en punto de ebullición (b) frascos para cultivos (c) 10 mL medio de cultivo en probeta

Los frascos con el medio de cultivo a mitad de sales (MS) fueron esterilizados en autoclave, a una temperatura de 121°C, a presión de 23 psi, durante 20 minutos (Figura 13).



Figura 13. Autoclave

3. Desinfección y siembra de las semillas de bromelia (*Tillandsia bourgaei*).

4. Semilla conservada a temperatura ambiente.

La primera evaluación consistió en hacer germinar las semillas de bromelia almacenadas a temperatura ambiente.

El primer paso fue la desinfección de las semillas, actividad que se detalla a continuación:

1.- Se procedió a sumergir las semillas por un minuto en un frasco de vidrio de 100 mL que contenía etanol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) [10] al 70%, esto se realizó en el interior de una campana de flujo laminar (Figura 14-A) y se realizó un enjuague por cinco veces con agua desionizada y esterilizada. Posteriormente se desinfectaron con hipoclorito de sodio (NaClO) al 30% + detergente Tween (polisorbato 20) (14 gotas por 100 ml) por 20 min (Figura 14-B). Se volvió a enjuagar cinco veces con agua desionizada y esterilizada (Figura 14-C). Por último se protegieron las semillas con solución del fungicida captan N-triclorometilitio-4-ciclohexeno-1,2-dicarboximida (8g/L) + fertilizante NP Agrimins (8g/L) + un coadyuvante Poliéter polimetilsiloxano copolímero Break-Thru (10 gotas por 100mL) durante 15 min (Figura 14-D).



Figuras 14. (a) Etanol al 70% de agua, (b) NaClO al 30%, (c) agua estéril y (d) solución de captan, agrimin y Break-Thru

2.- Las semillas remojadas se tomaron con las pinzas de disección y se sembraron directamente en una caja Petri misma que tenía el medio de cultivo MS (Figura 15).

3.- Se colocaron 10 semillas de la bromelia en cada uno de los 15 frascos, con un total de 150 semillas. Los frascos se etiquetaron y fueron colocados en el cuarto de incubación a una temperatura media de 25°C y con luz led (una lámpara diodo emisor de luz) de 60 watts.



Figura 15. Caja Petri con semillas.

5. Ensayo con semillas almacenadas a temperatura de 2°C .

Después de permanecer 30 días almacenadas en una cámara de enfriamiento a 2°C , las semillas de bromelia se retiraron de la cámara de refrigeración y se inició el mismo procedimiento que el descrito para aquellas que se almacenaron a temperatura ambiente.

Se sembraron 10 semillas en 15 frascos, con un total de 150 semillas. Mismos que se etiquetaron con el nombre de la especie y fecha de siembra y fueron puestos en el cuarto de incubación a una temperatura media de 24°C y con luz de 60 watts.

6. Supervisión de los dos tratamientos

Porcentaje de contaminación

Después de la siembra de las semillas en el medio de cultivo, los frascos se revisaron diariamente para contabilizar y eliminar los que presentaban contaminación. Se efectuaron los registros de días de contaminación, tipo de contaminación (hongo y/o bacteria), y número de frascos contaminados por tratamiento (% de contaminación).

Porcentaje de germinación.

Diariamente se observaron las semillas para registrar el hinchamiento las mismas, así como cambio de color y número de semillas germinadas. Posteriormente, se midió el tamaño de la plántula cada siete días con un total de cuatro observaciones.

RESULTADOS

1 Índice de contaminación por hongos y bacterias conservada a temperatura ambiente.

A partir del segundo día de colocación de las semillas, se comenzó a medir el número de frascos que presentaban contaminación por hongos y/o bacterias en los frascos de Bromelia (*Tillandsia bourgaei*), así también se registró el índice de contaminación; los resultados se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2: Tabla en la que se muestra el porcentaje de contaminación del tratamiento con semilla almacenada a temperatura ambiente por Hongos y bacterias.

No. de frascos	No. de frascos contaminados	% frascos contaminados
1	0	0%
2	0	0%
3	0	0%
4	0	0%
5	0	0%
6	0	0%
7	0	0%
8	0	0%
9	0	0%
10	0	0%
11	0	0%
12	0	0%
13	0	0%
14	0	0%
15	0	0%
Totales	0	0%

Como se puede apreciar, no se presentó contaminación por hongos y/o bacterias, esto es atribuible al correcto procedimiento de desinfección de la semilla y al manejo de todo el proceso de siembra al que se sometió.

2 Germinación in vitro de semillas de Bromelia (*Tillandsia bourgaei*) conservadas a temperatura ambiente.

Desde el día cero se contabilizó el porcentaje de germinación (Figura 16 a), así como la aparición de las primeras hojas (Figura 16 b) y callos (Figura 16 c).

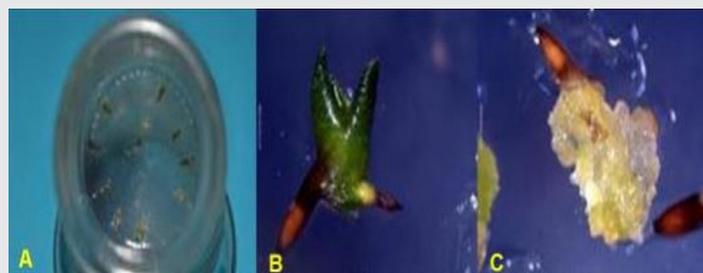
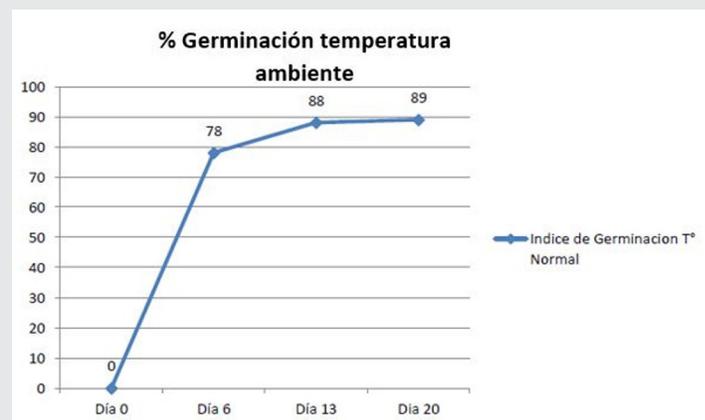


Figura 16. (a) Inicio de la germinación, (b) inicio de las primeras hojas y (c) formación de callos.

En la gráfica 1, se muestran los resultados del índice de germinación a temperatura ambiente. A los 6 días comenzó la germinación, es decir, obteniendo 117 semillas germinadas con un porcentaje del 78%.

También se pudo observar que la semilla se encontraba en la etapa cuatro, donde la germinación era visible y el embrión era verde claro, ya en esta etapa se podía observar el hipocótilo, para los 13 días se incrementó la germinación a un 88%; para los 20 días la germinación final fue de un 89%.

Hay que señalar que del 89% de germinación, un 28.66% fue de plántulas y 60.66% de callos.



Gráfica 1: Porcentaje de germinación de Bromelia (*Tillandsia bourgaei*)

3 Aparición de primeras hojas y callos y tasa de crecimiento en semillas conservadas a temperatura ambiente.

A partir de los 27 días se comenzó a apreciar las primeras hojas. (Figura 17 a), teniendo como resultados un 60.66% de callos y un 28.66% de plántulas. A los 34 días se obtuvo un porcentaje de 28.66% de plántulas con un tamaño medio de tres milímetros y un 60.66% de callos (Figura 17 b).

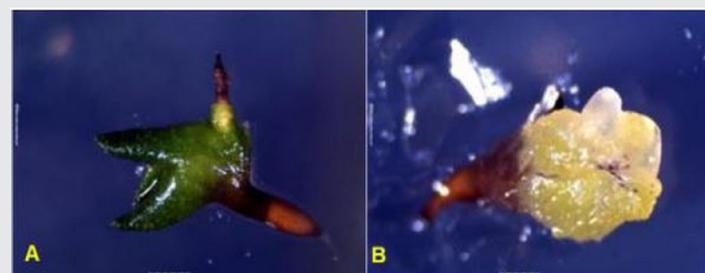


Figura 17. (a) Primeras hojas y (b) callos en Bromelia (*Tillandsia bourgaei*)

4 Índice de contaminación por hongos y bacterias, en semillas de la bromelia conservadas 2 °C por 30 días.

El índice de contaminación por hongos y/o bacterias (Tabla 3) en los frascos de Bromelia (*Tillandsia bour-*

gaei) fue cero, lo que demostró la calidad del procedimiento ejecutado en el transcurso del experimento.

Tabla 3: Tabla en la que se muestra el índice de contaminación de semilla almacenadas a baja temperatura por Hongos y/o Bacterias

No. de frascos	No. de frascos contaminados	% frascos contaminados
1	0	0%
2	0	0%
3	0	0%
4	0	0%
5	0	0%
6	0	0%
7	0	0%
8	0	0%
9	0	0%
10	0	0%
11	0	0%
12	0	0%
13	0	0%
14	0	0%
15	0	0%
Totales	0	0%

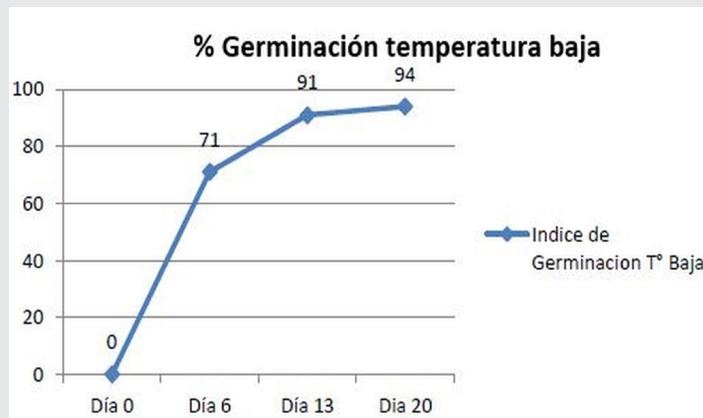
5 Germinación in vitro de bromelia (Tillandsia bourgaei) de semillas conservadas 2°C por 30 días.

Se contabilizó el índice de germinación de las semillas almacenadas a 2°C. La germinación inició a partir del sexto día, donde se pudo observar como el embrión se fue abultando hasta que uno de los extremos del eje embrionario rompió las envueltas seminales y se apreció, dando la primera señal palpable de que la semilla estaba germinando (Figura 18).



Figura 18. Inicio de germinación en bromelia in vitro.

En la gráfica 2 se aprecia el índice de germinación a los seis días fue del 71%, donde se pudo observar el hipocótilo, a los 13 días se incrementó la germinación a un 91%, posteriormente a los 20 días la germinación máxima alcanzó un 94%.



Gráfica 2. Porcentaje de germinación de bromelia (Tillandsia bourgaei) a baja temperatura 2°C

6 Aparición de primeras hojas y callos en bromelia (Tillandsia bourgaei) y tasa de crecimiento, de semillas conservadas 2°C por 30 días.

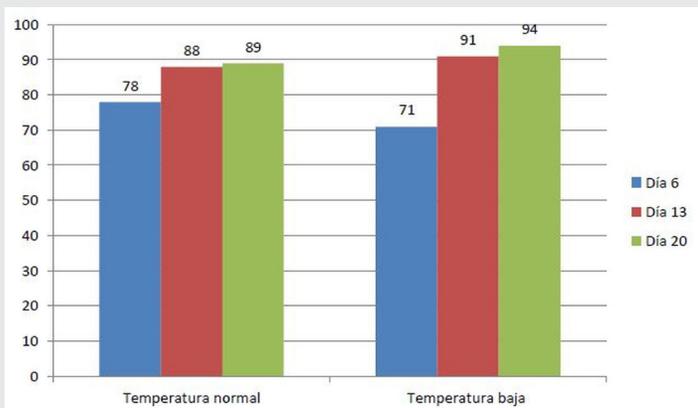
La aparición de las primeras hojas (Figura 19) se observó a los 20 días de la fecha cero y la tasa de crecimiento a partir del mismo día. Al cumplir 27 días había alcanzado un 40.66% en callos y un 53.3% en plántulas. La última medición que se realizó fue a los 34 días, donde se alcanzó un 41.33% en callos y un 55.33% en plántula, teniendo un constante avance en el crecimiento con tres milímetros aproximadamente en altura de las plántulas.



Figura 19. Aparición de primeras hojas y callos en bromelia, conservada a 2°C

7 Comparación de la germinación en ambos tratamientos.

La gráfica 3 muestra que cuando las semillas se almacenaron a temperatura ambiente el porcentaje final de germinación no rebasa el 89%, pero cuando las semillas se conservan 2°C por 30 días alcanzan un 94%. Lo que marca una diferencia de 5% en la germinación en bromelia (Tillandsia bourgaei), y que permite concluir que existió un proceso de escarificación cuando se baja la temperatura, y promueve la germinación.



Gráfica 3. Porcentajes de germinación en ambos tratamientos.

8 Comparación de la aparición de las primeras hojas y tasa de crecimiento en ambos tratamientos.

Las primeras hojas son importantes ya que pueden garantizar un buen sistema radicular y con esto, contribuir a tener una planta sana y vigorosa; en los tratamientos se observaron las primeras hojas en distintos días, ya que el tratamiento uno tuvo su aparición de primeras hojas a los 27 días de la fecha cero y registró un 60.66% de callos y un 28.66% de plántulas sanas teniendo en cuenta que la germinación total era de 89% y con un tamaño en promedio a tres milímetros.

En el tratamiento dos de baja temperatura, se pudo observar que las primeras hojas aparecieron a partir del día 20, es decir, siete días antes que el tratamiento uno. Lo cual reflejó que un almacenaje a temperatura baja contribuye a la germinación y acelera la aparición de primeras hojas.

Ambos tratamientos no presentaron ningún tipo de contaminación por hongos y/o bacterias, lo que indica que esta especie tiene una buena relación con el medio utilizado.

La tasa de crecimiento del tratamiento dos, referida a callos fue de 41.33%, mientras que el tratamiento uno lo superó con un 60.66% en callo. Con respecto al desarrollo de las plántulas los resultados reflejaron que el tratamiento dos superó con un 55.33% al tratamiento uno que solo obtuvo un 28.66%.

CONCLUSIONES

Considerando los datos obtenidos en este estudio se pueden considerar datos cuantitativos en función de hasta un 5% de diferencia en la germinación de las semillas sometidas a bajas temperaturas

Los resultados en el proyecto muestran que la temperatura de almacenaje influye en la germinación in vitro. Asimismo, el almacenaje de las semillas a temperatu-

ra baja hasta por 30 días, influye positivamente en la germinación, acelera la aparición de primeras hojas y desarrollo de las plántulas, no ocurriendo así en la formación de los callos.

Es importante destacar que el procedimiento utilizado en el transcurso del proyecto, para el cultivo in vitro de la bromelia garantizó que no existiera contaminación de hongos y bacterias. Con estas contribuciones se pudo tener un ahorro significativo para los investigadores que trabajan con esta y otras especies, ya que a menor contaminación mayor número de plantas obtenidas para su futura aclimatación.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias del municipio de Zcatepec de Hidalgo en el estado de Morelos, por todas las facilidades en la estadía de investigación, y cuyo acuerdo de colaboración fueron esenciales en la culminación de nuestro proceso formativo como Técnicos Superiores Universitarios en Agricultura Sustentable y Protegida.

Gracias a la Universidad Tecnológica del Sur del Estado de Morelos (UTSEM) que ha sido de mucho apoyo en nuestra formación como futuros ingenieros.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Espejo Serna Adolfo, López Ferrari Ana Rosa. (2018). *La familia Bromeliaceae en México*. *Botanical Sciences* (pp. 533 - 554).
- [2] Carvente Acteopan Sabina et al. (2017). *Diversidad y abundancia de bromelias epifitas en "El Punto" Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca* *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Pub. Esp. No. 18* (pp. 3661-3671).
- [3] Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2010). *El Bosque Mesófilo de Montaña en México*.
- [4] Mondragon Chaparro, D. M., Ramirez Morillo, I. M., Flores Cruz, M., & Garcia Franco, J. G. (2011). *La Familia Bromeliaceae en Mexico*. *Universidad Autónoma Chapingo*.
- [5] Lopez, S., Ramirez, M., Holst, B., Luther, H., & Till, W. (2004). *Checklist of Mexican Bromeliaceae with notes on species distribution and levels of endemism*. *Selbyana*.
- [6] SEMARNAT. (30 de Diciembre de 2010). *Profepa. Recuperado el 13 de 03 de 2017, de NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010: http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf*

[7] Krikorian, A.D. (1991) *Medios de cultivo: Generalidades, composición y preparación*. In: Roca, William M.; Mroginski, Luis A. (eds.). *Cultivo de tejidos en la agricultura: Fundamentos y aplicaciones*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) (pp. 41 - 77). Cali, CO.

[8] Eleodoro Hernández-Meneses, et al (2018). *Germinación, Viabilidad y Regeneración In Vitro de plantas de Vriesea heliconioides (Kunth) Hook. ex Wal.* Revista Fitotecnia Mexicana, vol. 41, núm. 2 (pp. 99 - 113)

[9] Vadillo, G., Suni, M., & Cano, A. (09 de Julio de 2004). ISSN 1727. Recuperado el 28 de Junio de 2016, de *Viabilidad y Germinacion de Semillas Puya raimondii Harms (Bromeliaceae)*: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rpb/v11n1/v11n1a09.pdf>

[10] Nunes Vaz Pedroso, A., Morais Lazarini, R. A., & Calvalho Nievola, C. (2010). *In vitro culture at low temperature and ex in vitro acclimatization of Vriesea inflata an ornamental bromeliad*. Revista Brasil, 407-414.



Calidad

y

Sistemas de
Manufactura

Ingeniantes

Evaluation of an automatic tomato plant pollinator in a field assessment



Colaboración

Teresa Barrera Galván; Ulises Bañuelos Amezcua; Ramiro Rodríguez Mendoza, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior Mario Molina Pásquel y Henríquez, Unidad Académica Tamazula; Edén Ocegüera Contreras, Centro Universitario de los Valles, Universidad de Guadalajara

Fecha de recepción: 11 de octubre de 2020

Fecha de aceptación: 11 de marzo del 2021

RESUMEN: La polinización suplementaria en la planta de tomate permite obtener frutos más grandes con mayor calidad. Los sistemas de polinización tradicionales pueden ser manuales, abejorros, polinizadores eléctricos y sopladores. Todos ellos aumentan la inversión de producción en el cultivo. El objetivo de este estudio fue evaluar si la polinización automática (AP) podría ser útil para polinizar las plantas de tomate bajo invernadero. Se realizó una prueba de campo para analizar la actividad como polinizador de la planta de tomate versus la polinización manual (MP). Se realizó un diseño experimental con dos grupos, utilizando muestras independientes de igual tamaño, donde 20 plantas fueron completamente aleatorizadas y numeradas para cada uno de los tratamientos. Los resultados mostraron 25 °C como una excelente temperatura de polinización. En los primeros 150 días, AP polinizó el 90% de las flores frente al 75% de las MP. Tanto la producción de tomate como los racimos por planta fue más elevada con el AP, con un total de 963 (48.2 ± 14.6) tomates versus 714 (35.7 ± 16.7) ($p < 0.05$) y 130 (6.5 ± 1.6) vs. 108 (5.4 ± 1.5) ($p < 0.05$) clústeres por planta. Los resultados demuestran la viabilidad de usar un robot para polinizar tomates bajo invernadero durante una temporada completa.

PALABRAS CLAVE: Automation; computer applications; crop monitoring; monitoring robots; sensor.

ABSTRACT: Supplementary pollination in tomato plant allows to obtain larger fruits with higher quality. Traditional pollination systems can be handheld, bumblebee, electric pollinator, and blower. All of them increase production investment in the crop. The objective of this study was to evaluate whether automatic pollination (AP) could be useful to pollinate greenhouse tomato plants. A field assessment was carried out to analyze the activity as pollinator of the tomato plant versus manual pollination (PM). An experimental design with two groups was carried out using independent samples of equal size, where 20 plants were completely randomized and numbered for each of the treatments. The results showed at 25 °C as an excellent pollination temperature. In the first 150 days, AP pollinated 90% of the flowers compared to 75% of the PM. Both tomato production and clusters per plant were higher with the PA, with a total of 963 (48.2 ± 14.6) tomatoes versus 714 (35.7 ± 16.7) ($p < 0.05$) and 130 (6.5 ± 1.6) vs. 108 (5.4 ± 1.5) ($p < 0.05$) clusters per plant. The results show the feasibility of using a robot to pollinate tomatoes under a greenhouse during a complete season.

KEYWORDS: Automation; computer applications; crop monitoring; monitoring robots; sensor.

INTRODUCTION

Most of the cultivated plants depend on pollination to produce their fruits. On nature, this process is carried out by insects, birds or mammals [1]. Among the factors that reduce productivity and quality of tomato crop are as follows: lack of pollination, unfavorable temperatures for anthesis, insufficient lighting, excess or lack of nutrients, and relative humidity [2]. The major crops in Mexico that require pollinators are beans (*Phaseolus vulgaris* L.), peppers (*Capsicum annuum* L.) and tomato (*Solanum lycopersicum* L.) [3].

In the last years, the cultivated area under greenhouse conditions has grown to more than half of this area (70%) focused most on tomato (*Solanum lycopersicum*) [4]. This scenario have motivated their development and also increased the demand for supple-

mentary pollination to obtain larger fruits for a higher yield and more commercially attractive fruits. Different methods such as the use of manual vibration, wind shaking and pollinating insects have been used until now in low-tech greenhouses.

Greenhouse tomatoes require supplemental pollination during anthesis and are usually pollinated by manual vibration, which is a very arduous and expensive task. In Europe, insect colonies (*Bombus terrestris* L.) have been used since 1987 to pollinate greenhouse tomato plants, replacing manual pollination [5]. Although the use of bumblebees as greenhouse pollinators was rapidly disseminated, very little research was carried out regarding problems with bumblebees, for example, pesticides such as stressors [6].

Robotics in agriculture is not a new technology, since its use has a history of more than 30 years. Its worldwide utilization has increased joint with the capacity of Hi-Tech computers, technology research and automation. As the world population is expected to increase to nine billion by 2042, which means that there will be a considerable challenge in the provision of high quality food for this population. Furthermore, the labor force in agriculture is declining and automation technology is emerging to replace some traditional labor [7]. For example, in the production of special crops, labor is often tedious, non-ergonomic and performed by unskilled personnel. Automation technology improves productivity, health and staff satisfaction. However, there are serious technical challenges regarding the automation of operations and the control of dynamic processes. A recent robot, which is the closest to commercialization, is a strawberry harvester robot [8], but is still in the exploration phase.

According to Vega-González [9], the construction of a prototype consists of four phases, which are called bench prototype, concept prototype, laboratory prototype and technological product. Just a few robots can reach the last phase and the most of the cases due to the great amount of investment necessary for producing the prototype in industrial scale.

On the other hand it worth to mention that floral anthesis starts early in the morning around 6 am and the flower continues opening until 11 am. The peak period of anther dehiscence is between 8 to 11 am depending upon the initiation of sunshine, atmospheric temperature and humidity. At temperatures ranging between 18 to 25 °C, the pollen remains viable for 2 to 5 days, the stigma becomes receptive 16 to 18 h before anthesis and retains the receptivity up to 6 days after anthesis, i.e., shortly before the flower withers. This long duration of stigma receptivity from near one day prior to 6 days after anthesis, permits controlled pollinations. These are further facilitated by the long-duration viability of pollen as the pollen retains its viability for 2 to 5 days at temperature ranging from 18 to 25 °C [10].

Given these concerns, the aim of this study was to evaluate whether the automatic pollination (AP) could be useful to pollinate tomato plants under greenhouse conditions according to the setup parameters.

MATERIAL AND METHODS

Design and construction of the automatic pollinator
The robot (AP) includes a DHT11 sensor (Aosong Electronics Co., LTD., China) and the vibration system, both devices were connected to an Arduino board. The AP is a dynamic open-loop control robot, which was developed using an embedded system [11], to record and determine the appropriate stage when the electric motor must be turn on/off. Furthermore, the robot consists in one horse power motor (DC motor electric 12 volt 56C 1800 rpm, PTJ Industrial) capable to vibrate in an eccentric way and a digital recording system that stores the information in a micro SD memory configured to acquire greenhouse data. The operation of the AP was evaluated by counting the working hours, recording variables (temperature and relative humidity), switching the on/off system and vibration according to the set point parameters, which were controlled by LabView 2013 (National Instruments).

Study area

This research was carried out from January 1st to July 15th 2016, in the Technological Institute of Tamazula, located in the city of Tamazula de Gordiano, Jalisco, Mexico. Tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.) were planted with a density of 3.2 plants m⁻² in a plastic greenhouse, with a traditional design. The greenhouse is a 4-connected gutter (numbered 1-4). The pollination was carried out in the gutter 1 and 4 for the MP and AP, respectively. To establish climate, irrigation, fertilization, tutoring and pest control and other cultural labors, the practices suggested by Jaramillo [2], were followed.

Robot functionality and activation

Two treatments were evaluated as follows: i) flower pollination through AP, and ii) flower pollination through MP. In order to evaluate the effect of the pollination system, the number of tomatoes and clusters per plant was quantified. The MP was performed every day by the same person; simultaneously, the AP was carried out in its respective section by the robot according on the activation parameters the set point was established at 25 ± 0.9°C. The treatments were established in two different gutters as above mentioned (Figure 1A). Twenty plants were randomly selected and numbered (1-20) for each section either for the MP or AP.

Data analysis

In order to evaluate the feasibility to automatically pollinate tomatoes under greenhouse the AP activity was compared versus MP. Dataset were analyzed using the independent samples t- test. To identify significant difference among treatments and statistical significance for all comparisons was made at p<0.05. Data are

shown as the mean \pm SD. To evaluate the effect on the treatment along the days a Pearson correlation was performed.

RESULTS

The development of a prototype consists in four phases. In the first stage (D0 to D1), the construction of a preliminary device or bank prototype is started, which serves to carry out the initial assessment for the technological improvements, between stages D1 to D2 improvements are made to the bank prototype until it reaches a concept prototype from which a technical and functional feasibility validation of the device is achieved.

Our robot is in stage D2, where the improvements were made to the bank prototype until it reached a concept prototype through system validation, and technical-functional device feasibility. The robot was located in the upper part of the gutter 4 (Figure 1B). The robot works by means of the eccentric motor movement which is located at the upper of the gutter 4 and interlaced with the main tutor, the movement of the robot vibrates both the main tutoring and vertical tutoring, which leads to flower pollination.

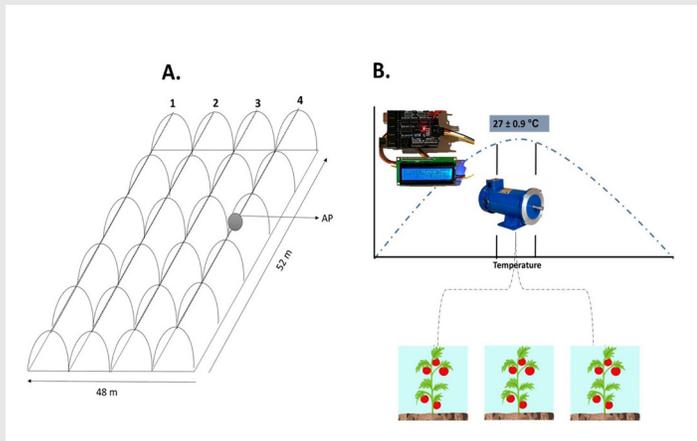


Figure 1. Greenhouse divisions and location of the automatic pollinator. A. Greenhouse area (52 m long -48 m wide, divided into 4 gutters (1-4).) B. Automatic pollinator (located in the upper of the gutter 4).

This robot (AP) has been designed to perform the task of replacing either bumblebees or manual pollination due to these two methods are costly. On the other hand, bumblebees have an initial cost of \$800 USD per hectare (ha), with subsequent expenditures of \$250 USD every 22 days ha⁻¹ for 6 months, which has a final total of \$2300 USD. In this study, showed how a single AP activation could pollinate at least $\frac{1}{3}$ of the greenhouse. However, according to a preliminary test a $\frac{1}{3}$ of greenhouse pollination were performed (Data not shown). Conversely, during manual tomato pollination at least, two people per day per hectare is used, with an approximate time of one hour per person. In addition, an approximate cost of \$35 USD per day (three days long) with a total of \$2457 USD during six months is spent, in

which that time is only occupied to pollination labors (Figure 2). Hence, with three robots is sufficient to pollinate one hectare under greenhouse conditions, the final cost for each ha was \$150 USD (\$450 USD in three robots) which means at least 5.1 and 5.4 times cheaper than Bumblebees or MP, respectively.

Approximated-6-months investment expenses

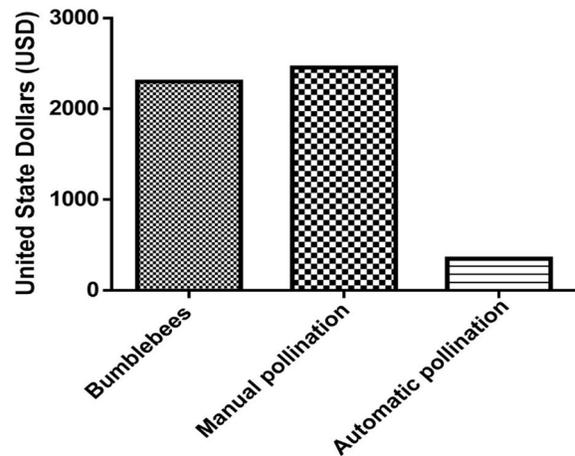


Figure 2. Six-months total expenses during greenhouse pollination.

Another variable considered in this study was the relative humidity which was correlated with temperature, since the relative humidity values were higher than 80%, can stimulates the plant diseases development and difficult the fertilization by pollen compaction. On the other hand, the low percentages of relative humidity cause difficulties in the pollen fixation to flower stigma. The AP vibrated in the programming parameters and was capable to work with different set points either for temperature or relative humidity (Figure 3). In addition, we can observe that the 25 °C setup parameter was reached at least two times in one day.

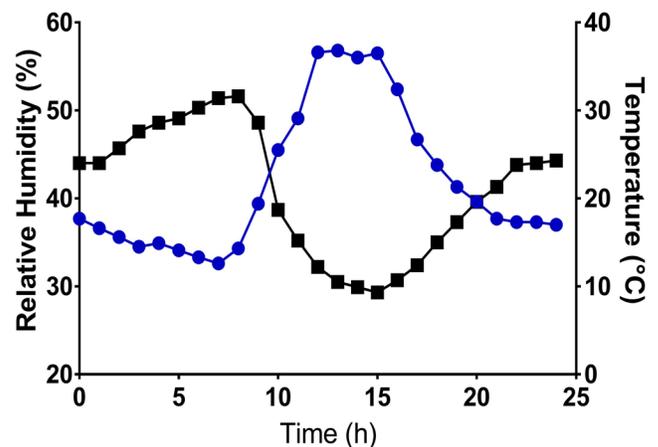


Figure 3. Temperature (blue circles) and relative humidity (black rectangles) recording. The greenhouse data acquisition was stored in a micro SD memory for the further analysis.

To verify whether the robot could detect temperature and relative humidity and simultaneously could be activated in an automatic way and also perform the vibration, the activity of the robot was recorded for six months (January-July). Figure 4A, shows the temperature kinetics in three consecutive days, as we can see the min-max temperature ranges from 10 to 37 °C, and every day at least two activations could be reached one for the morning at 9:45 am and four hours later at 13:46 pm and the vibration was performed only when the greenhouse reached the set point parameter (25 ± 0.9 °C), all the measures were corroborated with external instruments (data not shown).

Figure 4B, shows the temperature inside the greenhouse with a minimum and maximum temperature range oscillating between 12°C and 42°C during all the studied variables measurement. This was an extra point to our robot due to this robot could be activated not only in determinant temperature but also in determinant humidity inside the greenhouse and therefore, could perform several activations. Moreover, the robot has the ability to store great amounts of data (depending on the storing devices), and the performing and activation of the AP is very precise and did not require any previous or constant calibration during all the study.

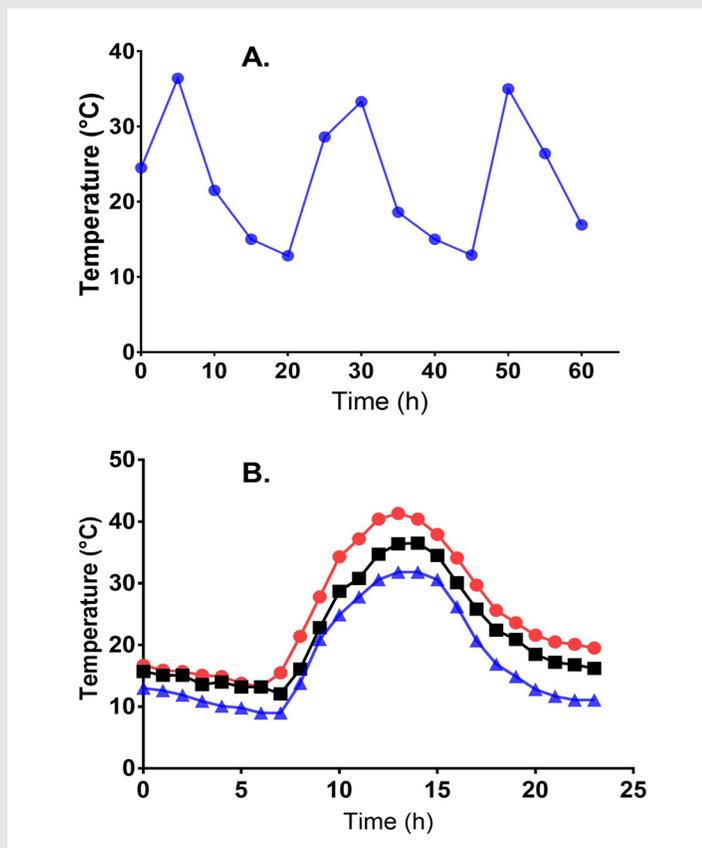


Figure 4. Effect of temperature on pollination. A. Three consecutive day recording and its respective pollination hour. B. Three consecutive months (February, blue triangles; March, black rectangles; April, pale-red circles) recording and its respective pollination hour.

Although in this study, AP had only a single activation temperature (25°C), the AP increased the total clusters per plant 1.2-fold higher compared to the MP (130 vs 108) ($p < 0.05$) (Figure 5A). The total number of tomato fruits per plant was also higher for AP in 1.35-fold times than the MP (963 vs 714) ($p < 0.05$) compared with MP (Figure 5B). The AP pollinated 90% of the flowers within the first 150 days vs the 75% for the MP (Figure 5C). Hence, extrapolating these results we can assume an approximated total tomato yield of 64000 tomatoes per gutter, i.e., approximately 256000 tomatoes in the whole greenhouse using the AP vs approximated 190000 for MP. Even though in the Pearson correlation, we found a moderate relationship between the days passed and the pollination method, we did not find a significant difference among models (NS) (Figure 5C). The R^2 indicates that the adjusted model explains 53% and 61% of the variability in pollinated flowers either for AP or MP, respectively. The correlation coefficient of 0.73 (AP) and 0.78 (MP) indicates a moderately strong relationship among variables.

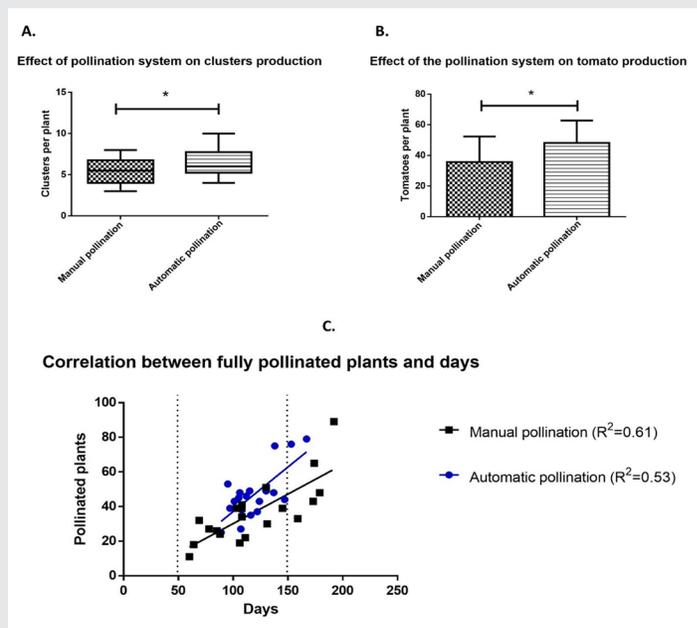


Figure 5. Manual pollination vs automatic pollination. A. Cluster production per plant ($n=20$). B. Tomato production per plant ($n=20$). C. Pearson's correlation between pollinated-plants and days. * $p < 0.05$.

DISCUSSION

Pollination is the sexual reproduction in plants, this happens through pollen transfer from the anther to a stigma. In this sense, pollination is carried out to produce seeds and, in some cases, fruits. Hence, pollination is an important input during production of marketable goods of many crops, in some crops such as tomato, supplementary pollination is needed; however, under greenhouse conditions this practice is expensive, laborious and unhealthy in some cases. For that reason, is necessary to develop robots to help human labor in agricultu-

ral practices, in this scenario, Arduino is emerging as an excellent strategy to construct Hi-Tech and Low cost robots [12].

The tomato flower has mechanisms, which have allowed to achieve up to 98% of self-pollination; however, is not sufficient for fruit production of high quality. It is well known that the size of the fruit depends directly on the quantity of pollen grains that are deposited on the stigma, thus the smaller quantity of pollen the smaller fruits are produced, with deformed seeds. The release of good pollen volumes from the antheric pores requires external agents, mechanical or biological mechanisms, which by vibration can release the pollen and at the time, can modify the physiological conditions of the flower. Conversely, Godfray [13], has estimated that is necessary to grow up the handy man working in agricultural due to 9 billion people has to be feed in 2049.

Garcia [12], showed that the available robots to work on field until now are strongly limited. The next generation of robots must be redesigned, extended and optimized. Also he underlined the necessities of greenhouse mechanization. In this study we tested an automatic tomato plant pollinator and was compared with manual pollination. In order to evaluate whether AP could be more effective than MP where our results the feasibility to use an automatic pollinator and to get more production yield.

On the other hand, Yuan [14], evaluated an autonomous pollinator which is capable to pollinate one cluster in 15 seconds, that is to say, an average time of 150 seconds per plant. In this study, we are capable to pollinate the complete greenhouse in that time.

Another study was carried out using either insect or an automatic bee coated with ionic liquid gels [15], currently, is the most technological approach in the area of automatic pollination; however, a specialized handy man is needed either to program the robot or synthesize the molecules, which represents an extra expense during the crop harvesting.

Nowadays in many countries the labor available in agriculture is declining, greenhouses are not the exception automation and robotic are emerging as production keepers to get the costs down. Just a couple of robot could be called an optimized robot [16], [17]. The AP robot is in the development of conceptual prototype. It is known that is quite complicated to reach the commercialization, just a few robots could be considered as feasible to reach it [17], [18] due to their low operating speed, low success rates and high costs, which gives an extra point to this robot, because the cost of investment (USD \$150) is really affordable, the success rate is quite high because it pollinated more flowers than manual pollination (Figure 5) and the operation speed is not a limiting factor, even though it only vibrated once or twice a day is enough to pollinate the most of the flowers.

It is known that tomato is a warm season plant, where temperature plays a very important role in the plant development. It was observed that at temperatures below 10 °C, bloom is negatively affected, while temperatures higher than 35 °C accompanied by low relative humidity performs certain negative effects on the plant such as flower abortion, pollen viability and clusters reduction [19]. In this study, we established 25 °C as an optimal temperature for tomato pollination, to our knowledge we are the first group to propose this temperature as optimal one under greenhouse, since there is no a consensus on what the pollination temperature for tomato under greenhouse conditions could be. However, tomato under field conditions, is well known that success rate of effective pollination is influenced by temperature and humidity. Undoubtedly, 22 to 28°C temperature and 70% to 85% humidity are optimum for good seed set [10].

It is well known that temperature plays a fundamental role during plant development not only necessary for development but also for pollination. Solga [19], corroborated that temperature has a significant effect on flower pollination, is believed to be an outcome of pollen within the anthers. In addition, tomato is a C3 photosynthetic plant, which requires optimum pollination temperatures ranged from 18 to 27°C [20].

CONCLUSIONS

Our robot is still in the proof of concept. It is necessary to improve it; however, the robot could work up to 5000 h, without the necessity of any calibration before or during the season. The results showed that 25 °C is an excellent temperature for supplementary pollination. Furthermore, during the first 150 days the pollination with the robot was higher than the traditional pollination (90 vs 75% for AP and PM). More tomatoes and clusters per plant were developed using the AP with a total of 963 (48.2 ± 14.6) tomatoes versus 714 (35.7 ± 16.7) ($p < 0.05$) and 130 (6.5 ± 1.6) vs. 108 (5.4 ± 1.5) ($p < 0.05$) clusters per plant. The 6 month production costs was 5.4 times cheaper than the PM. The robot could detect temperature and humidity during all the study. Therefore, the operational conditions were established, the robot was able to perform its activation automatically according to the set point parameters. It is mandatory a better instrumentation with more robust sensors to control several processes during the performing of the AP in order to get the final stages (Technological product).

REFERENCES

- [1] J. Ollerton, R. Winfree, and S. Tarrant, "How many flowering plants are pollinated by animals?," *Oikos*, vol. 120, no. 3, pp. 321–326, 2011.
- [2] J. Jaramillo, V. Rodriguez P, O. Cadavid, M. Zapata, and T. Rengifo Martínez, "Buenas Prácticas Agrícolas en la Producción de tomate bajo condiciones protegidas," 2007.

- [3] M. Coro Arismendi and Conabio, "La crisis de los polinizadores.," *Biodiversitas*, no. 85, pp. 1–5, 2009.
- [4] SAGARPA, "Monografía del Jitomate," *Monogr. Cultiv.*, p. 10, 2010.
- [5] C. H. Vergara and P. Fonseca-Buendía, "Pollination of greenhouse tomatoes by the Mexican bumblebee *Bombus ephippiatus* (Hymenoptera: Apidae)," *J. Pollinat. Ecol.*, vol. 7, pp. 285–291, 2012.
- [6] A. Rortais et al., "Risk assessment of pesticides and other stressors in bees: Principles, data gaps and perspectives from the European Food Safety Authority," *Sci. Total Environ.*, vol. 587–588, pp. 524–537, 2017.
- [7] A. Chandrasekaran, K. Linderman, and R. Schroeder, "The role of project and organizational context in managing high-tech R&D projects," *Production and Operations Management*. pp. 560–586, 2015.
- [8] Q. Feng, W. Zheng, Q. Qiu, K. Jiang, and R. Guo, "Study on strawberry robotic harvesting system," in *CSAE 2012 - Proceedings, 2012 IEEE International Conference on Computer Science and Automation Engineering, 2012*, vol. 1, pp. 320–324.
- [9] L. R. V. González, "El proceso de desarrollo de productos tecnológicos entre las universidades y las MIPYMES mexicanas: Una carrera de obstáculos," *J. Technol. Manag. Innov.*, vol. 4, no. 4, pp. 120–129, 2009.
- [10] M. Kaul, "Reproductive biology in tomato," in *Genetic improvement on tomato.*, 2nd ed., Springer-Verlag, 2012, pp. 42–43.
- [11] A. K. Torres Galindo, "Development of a multispectral system for precision agriculture applications using embedded devices," *Sist. y Telemática*, vol. 13, no. 33, p. 27, 2015.
- [12] E. G. M. Garcia Chora Daniel, Alvarez Martinez SGuido, "Raspberry Pi y Arduino: Semilleros en innovación tecnológica para la agricultura de precisión," *Rev. Tecnol. la informática y las telecomunicaciones*, vol. 2, no. 1, pp. 74–82, 2018.
- [13] H. C. J. Godfray et al., "Food security: The challenge of feeding 9 billion people," *Science (80-.)*, vol. 327, no. 5967, pp. 812–818, 2010.
- [14] T. Yuan, S. Zhang, X. Sheng, D. Wang, Y. Gong, and W. Li, "An autonomous pollination robot for hormone treatment of tomato flower in greenhouse," in *2016 3rd International Conference on Systems and Informatics, ICSAI 2016, 2017*, pp. 108–113.
- [15] S. A. Chechetka, Y. Yu, M. Tange, and E. Miyako, "Materially Engineered Artificial Pollinators," *Chem*, vol. 2, no. 2, pp. 224–239, 2017.
- [16] Z. De-An, L. Jidong, J. Wei, Z. Ying, and C. Yu, "Design and control of an apple harvesting robot," *Biosyst. Eng.*, vol. 110, no. 2, pp. 112–122, 2011.
- [17] K. Tanigaki, T. Fujiura, A. Akase, and J. Imagawa, "Cherry-harvesting robot," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 63, no. 1, pp. 65–72, 2008.
- [18] D. M. Bulanon and T. Kataoka, "Fruit detection system and an end effector for robotic harvesting of Fuji apples," *Agric. Eng. Int. CIGR*, vol. 12, no. 1, pp. 203–210, 2010.
- [19] M. J. Solga, J. P. Harmon, and A. C. Ganguli, "Timing is Everything: An Overview of Phenological Changes to Plants and Their Pollinators," *Nat. Areas J.*, vol. 34, no. 2, pp. 227–234, 2014.
- [20] J. L. Hatfield and J. H. Prueger, "Agroecology: Implications for Plant Response to Climate Change," in *Crop Adaptation to Climate Change, 2011*, pp. 27–43.



Multidisciplinario
e
ingenierías

Ingeniantes

Análisis numérico del mecanismo de una trituradora de PET mediante el método de elementos finitos



Colaboración

Miguel Alberto Domínguez Gurría; Ulises Augusto Jaen Rendón, Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Angelo Garibaldi Rodríguez, Centro de Enseñanza Técnica y Superior; Vladimir Zagoya Juárez, Tecnológico Nacional de México / Campus Misantla

Fecha de recepción: 11 de agosto de 2020

Fecha de aceptación: 11 de marzo del 2021

RESUMEN: Se presenta un análisis de los elementos mecánicos que constituyen una trituradora de plástico PET en donde se considera la influencia de la fuerza de oposición al corte del plástico en las cuchillas de corte y el eje rotatorio. El objetivo se centra en corroborar la factibilidad del uso de un eje rotatorio hexagonal junto con las cuchillas de corte y que no se presentarán fallas estructurales en el sistema. El estudio se realiza mediante experimentación numérica con un software de elemento finito considerando los elementos del sistema de acero general. Los resultados muestran los esfuerzos presentes en los elementos de corte y el eje hexagonal debido al giro y fuerzas resistivas generadas por el PET, por lo que de acuerdo a los resultados obtenidos los elementos cuentan con un factor de seguridad de 1.5 por lo que se comprueba que las piezas no fallaran bajo condiciones de trabajo normales.

PALABRAS CLAVE: Análisis Numérico, Elemento Finito, Modelado, PET, Trituradora.

ABSTRACT: The present analysis of the mechanical elements that constitute a PET shredder, in which the influence of oppositional cutting force on the cutting blades and the rotating shaft. The main focus is to validate the usage of an hexagonal shaft in conjunction with the cutting blades without structural damage to the system. The study is done through numerical experimentation with a finite element software using general steel for the system elements. Static and dynamic conditions are considered for the system, the conditions are based on the literature. The results show stress on the cutting elements and on the hexagonal shaft due to rotation and opposing forces from PET. The results obtained take into account a safety factor of 1.5, with this results, the proper function of the machine elements is assured.

KEYWORDS: Numerical análisis, Finite Element, Modeling, PET, Crusher.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento del consumo de materiales poliméricos ha crecido de manera desmedida en las últimas décadas debido a que por sus propiedades físicas, químicas y mecánicas han sustituido otros materiales en bastantes aplicaciones, como lo son los vidrios en envases de bebidas, textiles, embalajes entre otros.

De acuerdo con la Organización de Naciones Unidas, la generación de basura en el mundo por cada habitante es en promedio de un kilogramo de desechos diariamente, considerando que la población mundial llega a 6 mil 500 millones de personas, esto significa que diariamente se produce 6 mil 500 millones de toneladas de basura en promedio en el mundo. México genera más de 44 millones de toneladas anuales de residuos y se espera que este número alcance 65 millones para el año 2030 [1].

En la Figura 1 se muestra el consumo nacional de plásticos, siendo la industria del envase predominante con un 48%, mientras que el sector automotriz consume solo un 4%, lo cual representa una muy fuerte área de oportunidad para reinsertar a la cadena de valor los materiales recuperados del desperdicio de la industria del envase.

Niveles de consumo por área

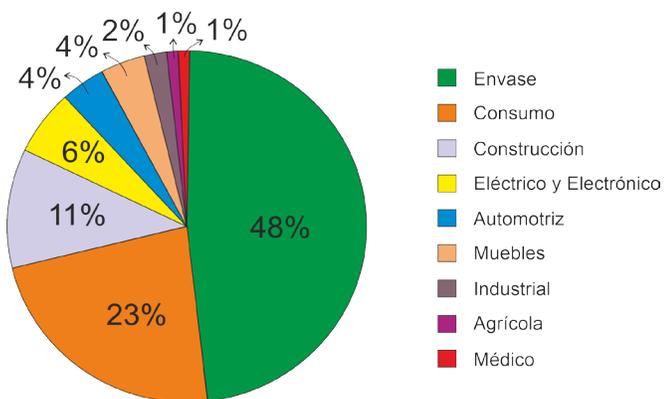


Figura 1.- Consumo porcentual de plásticos en México por sector [2].

El ciclo de vida en los polímeros se ilustra en la Figura 2, donde inicia con el proceso para obtener materia prima, ya sea a partir de material virgen o reciclado, para después ser transformado mediante diferentes procesos, como lo son extrusión, moldeo por inyección entre otros; esto aplicado solo en los termoplásticos debido a su fundición por temperatura. Las propiedades mecánicas de un material al pasar por un proceso de reciclado disminuyen entre el 5 y 10%, esto puede modificarse con la utilización de ciertos aditivos [4].

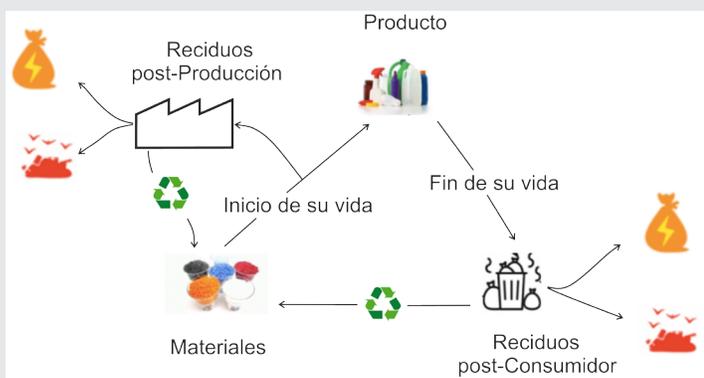


Figura 2.- Ciclo de vida en los polímeros [3].

La reducción en el consumo de estos materiales es una estrategia que se ha puesto en marcha a nivel mundial, sin embargo, por sus propiedades es conveniente plantearse como una estrategia contra la contaminación ambiental el aprovechamiento de los envases PET, así como de otros elementos reciclables. El reciclado de materiales plásticos es una actividad rentable, encaminada a la utilización del material reprocesado en nuevos productos.

El presente artículo consiste en establecer la viabilidad en la construcción, en el funcionamiento y resistencia de los componentes de una máquina trituradora de PET mediante el método de los elementos finitos, con la fi-

nalidad de facilitar el reciclado de plásticos y reintegrarlos a la cadena de valor.

Reciclaje

El reciclaje, es un proceso mecánico, químico o biológico que produce nuevos materiales, productos o energía a través de materiales usados y desechados [7]. El plástico es uno de los residuos que más tardan en degradarse, por ende, es importante reciclar y reutilizar este tipo de material, debido a su alta demanda. El reciclaje de plásticos puede llevarse a cabo de manera mecánica o química.

Reciclaje mecánico

El reciclaje mecánico consiste en un proceso relativamente sencillo contando con 4 etapas principalmente, estas son:

- Recolección del material.
- Lavado y limpieza primaria.
- Clasificación.
- Trituración.

La recolección del material tiene como estrategia la concientización de las masas para facilitar la actividad, esto daría una ventaja y mayor porcentaje de recolección de residuos [5].

La clasificación o sorteo consiste en separar los elementos por el tipo de resina que se ha usado para su fabricación, posteriormente se eliminan las impurezas que lleven, como etiquetas o residuos. Para lograr separarlos según su tipo, existe un sistema de clasificación y codificación de plásticos, lo cual facilita su recuperación y sorteo para poder realizar el reciclado. La Tabla 1 muestra el código de identificación plástico.

Tabla 1.- Código de la identificación plástico para su gestión y reciclado [6].

Símbolo	Tipo de plástico	Abreviatura
	Polietilentereftalato	PET o PETE
	Polietileno de alta densidad	PEAD o HDPE
	Poliloro de vinilo	PVC
	Polietileno de baja densidad	PEBD o LDPE
	Polipropileno	PP
	Poliestireno	PS
	Otros plásticos	Otros

Botellas de PET

El PET o PETE, indicado con el número 1, es un tipo de material muy utilizado debido a que con él se elaboran botellas de agua, refrescos, jugos, incluso envases de alimentos, el cual es un material transparente e impide la entrada de oxígeno.

Dentro de las botellas analizadas se consideraron las de bebidas embotellada en sus presentaciones de 355ml, 500ml, 600ml y 2lt como se observa en la Figura 3, debido a que son las de mayor demanda en el mercado [8].

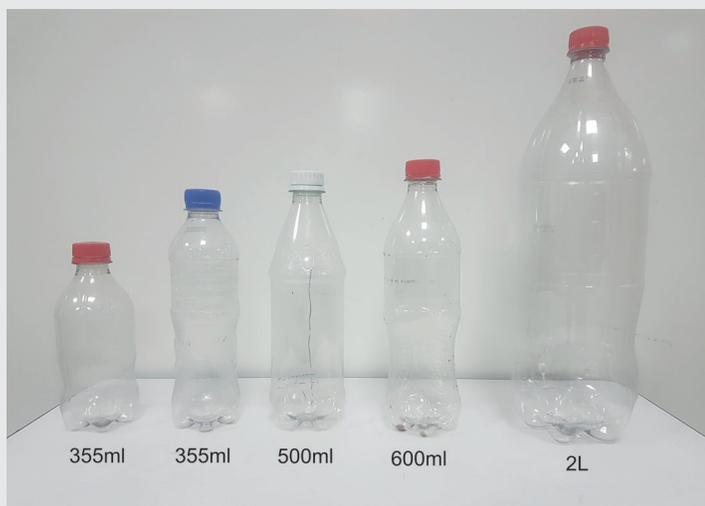


Figura 3.- Tamaños de botellas de PET

Las dimensiones de las botellas en sus diferentes presentaciones se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2.- Dimensiones de botellas comerciales de PET.

Volumen	Diámetro	Alto
335ml	50.6mm	180mm
600ml	67.4mm	250mm
1L	79.4mm	250mm
2L	100.04mm	350mm

El dimensionamiento de las botellas de PET es esencial, debido a que a partir de estas mediciones se determinan las dimensiones de la flecha y de las cuchillas.

Existen maquinas trituradoras de PET en el mercado, las cuales presentan diversas ventajas y desventajas como el uso de geo-localizadores [9], diversas geometrías en las cuchillas de corte [10] así como en el

eje donde se montan [11], sin embargo, el análisis de los elementos mecánicos, así como la selección del material en ocasiones no es tomado en cuenta a la hora de ser diseñadas las máquinas trituradoras y sus elementos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Elementos de trituración

Las dimensiones de los elementos de corte fueron seleccionadas de acuerdo a las botellas de PET de mayor demanda, siendo la de mayor tamaño como la elegida como referencia de las dimensiones que tendrían los elementos, la cantidad de cuchillas y la longitud de la flecha se derivaron de estas medidas, el espesor de los separadores es el encargado de dar el tamaño de la oblea de PET.

El ensamble de los elementos de corte está conformado por 3 elementos diferentes, que son: las cuchillas de corte (2), los elementos separación (3) y el eje (1) sobre el cual están montados los otros elementos como se observa en la Figura 4.

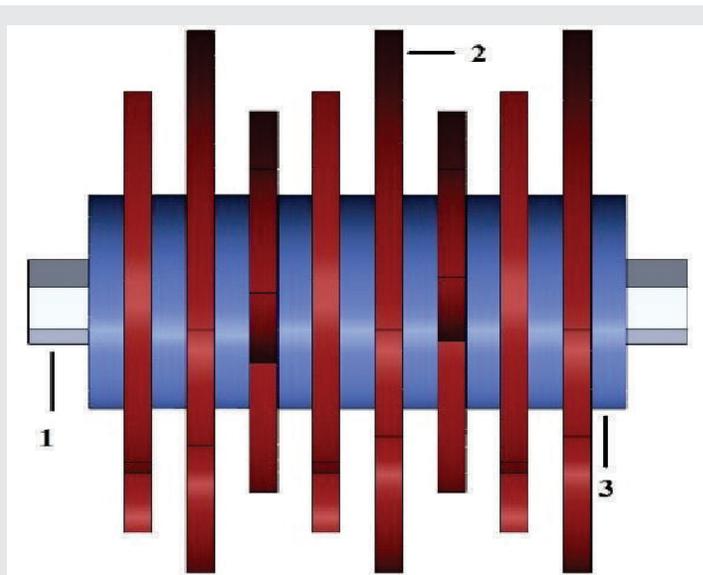


Figura 4. Medidas volumétricas estándar utilizadas.

La propuesta de las cuchillas de corte mostrada en la Figura 5, tiene un espesor de 3/16 de pulgada y entre cada cuchilla, es montado un separador cuyo espesor es de 1/4 de pulgada, dando ese tamaño a el PET ya cortado.

El montaje de las cuchillas en el respectivo eje, tiene un acomodo con una diferencia de 60° como se presenta en la Figura 6, debido a su geometría hexagonal se hace más sencillo el montaje de las piezas así la como fijación de las cuchillas y separadores reduciendo a su vez la cantidad de elementos de fijación (tornillería), debido a que no es necesario fijar pieza a pieza, logrando la fijación de los elementos con un tornillo al inicio y al final del ensamble.

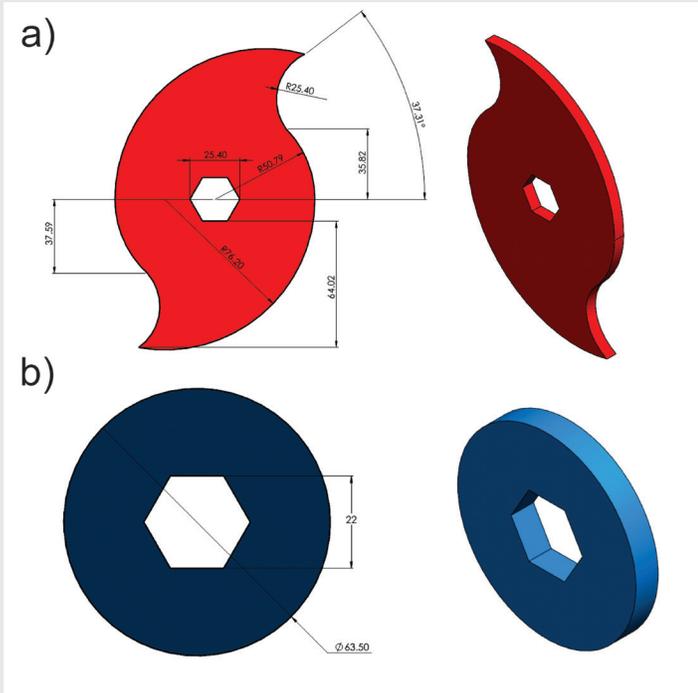


Figura 5.- Dimensiones de elementos, donde: a) cuchilla de corte, b) separador.

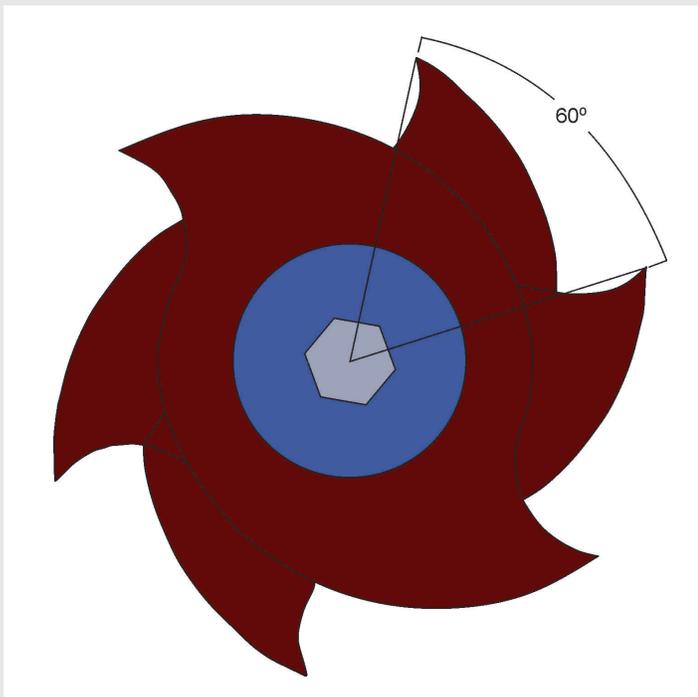


Figura 6.- Posición angular de las cuchillas.

Los elementos de corte consisten en un cortador fijo y uno rotatorio. La Figura 7 muestra las cuchillas de corte y los separadores montados en los ejes, siendo uno fijo (a) y el otro rotatorio (b). La diferencia de dimensiones entre los elementos, nos permite tener un claro de 1/16 de pulgada, provocando el corte del material.

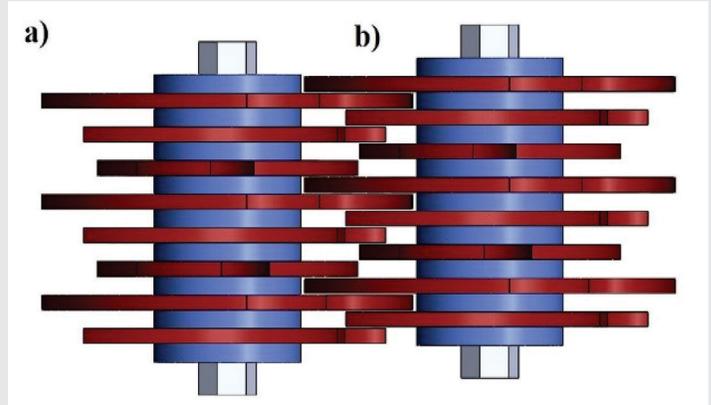


Figura 7.- Ensamble de componentes, donde: a) eje rotatorio, b) eje fijo.

Validación analítica del modelo discreto

Para conocer los esfuerzos que se presentan en el eje debido a los elementos que soporta, se realizó un análisis estático utilizando teoría de vigas [14], los cuales serán una referencia importante en la validación de los modelos numéricos realizados. La figura 8 presenta el diagrama de cuerpo libre, mostrando las fuerzas ejercidas sobre el eje por cada uno de los elementos que soporta.

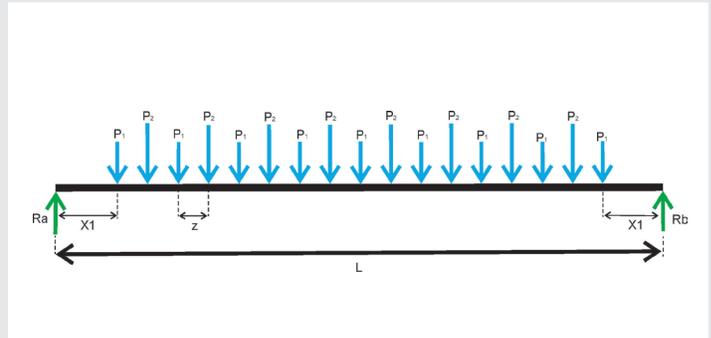


Figura 8.- Diagrama de cuerpo libre.

Por simplicidad, se concentra una fuerza puntual en el centro del eje para realizar los cálculos mediante las ecuaciones de equilibrio:

$$\sum F_y = 0 \quad \text{Ec (1)}$$

$$\sum M_a = 0 \quad \text{Ec (2)}$$

Con base al DCL mostrado en la figura 8, se define la condición de equilibrio mostrada en la Ec (3).

$$R_a + R_b - P = 0 \quad \text{Ec (3)}$$

Al aplicar la segunda condición de equilibrio, se obtiene la siguiente expresión:

$$R_b = \frac{P \left(\frac{L}{2}\right)}{L} \quad \text{Ec (4)}$$

Con lo anterior, se tiene conocimiento de la magnitud de las reacciones existentes en los soportes del eje.

Teniendo en cuenta la simetría y la posición de la fuerza aplicada en el eje, se obtiene el momento máximo con el cual se obtiene el esfuerzo máximo a flexión mediante la ecuación 5 [17].

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad \text{Ec (5)}$$

Donde:

M = Momento máximo

c = distancia de centro a extremo de la viga

I = Momento de área

Con la ecuación 6 se calcula la deflexión máxima de la viga para el caso particular, el cual se define mediante el tipo de apoyo presente en el eje [17].

$$\delta_{max} = \frac{-P L^3}{192EI} \quad \text{Ec (6)}$$

Donde:

P = Carga

L = Longitud de la viga

E = Módulo de elasticidad del material

I = Momento de área

Modelado por elemento finito

Se realizó el modelo discreto usando un software de elementos finitos, con las condiciones de frontera que se muestran en la Figura 9.

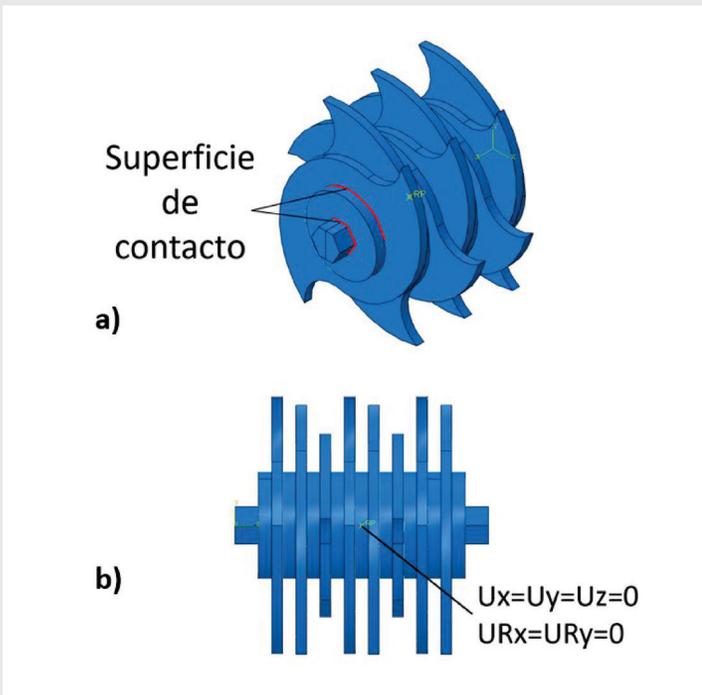


Figura 9.- Modelo discreto, donde: a) superficies en contacto, b) condiciones de frontera en el eje.

Para minimizar las deflexiones, el acero es la mejor elección como material para ejes, debido a su alto módulo de elasticidad; no obstante, el hierro colado también se utiliza sobre todo cuando los accesorios se funden con el eje [17].

El modelado discreto considera todos los elementos como deformables utilizando las propiedades del acero, las cuales se presentan en la Tabla 3. Se utilizó un coeficiente de fricción de 0.3 [13] entre las superficies del eje, las cuchillas de corte y el elemento separador.

Tabla 3.- Propiedades de los materiales utilizados [15].

Propiedades/Material	Acero	PET
Módulo de Young (MPa)	20000	3000
Densidad (Kg/m ³)	7850	1400
Coef. de Poisson	0.33	0.44

Entre todos los elementos que integran el modelo, se consideró un tamaño de malla de 3 mm en el eje y 3mm en la cuchilla de corte y el separador como se observa en la Figura 10.

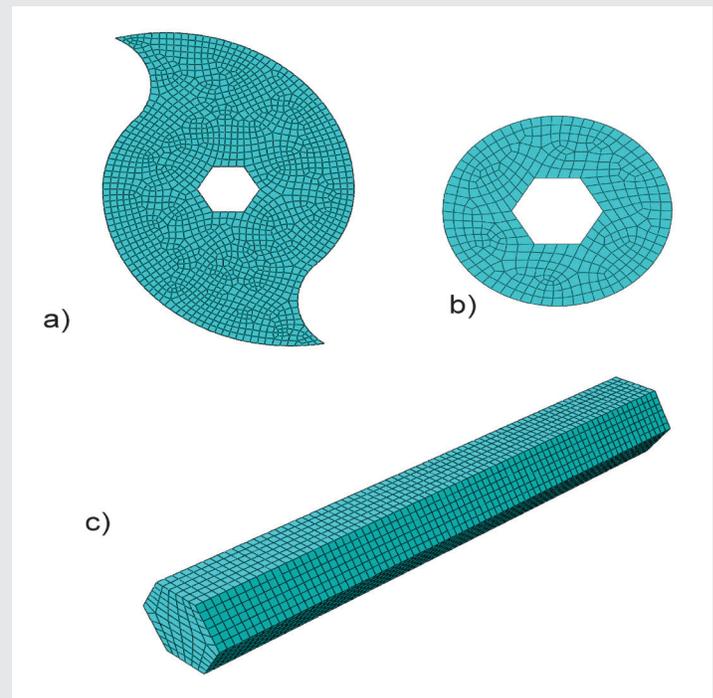


Figura 10.- Malla en los elementos, donde: a) cuchilla de corte, b) separador, c) eje.

El tamaño de malla en los elementos se estableció mediante un análisis de convergencia de malla, el cual se realizó comparando los resultados analíticos de deflexión en el eje y los numéricos.

Análisis estático

El análisis estático consistió en modelar el eje sometido a cargas producidas por el peso de los elementos que soporta con la finalidad de conocer los esfuerzos presentes y su resistencia. Se realizaron los cálculos correspondientes para conocer la fuerza que ejercen

los elementos en el eje y así agregarlas como presión en el modelo. Las condiciones de frontera se muestran en la Figura 12.

En la Figura 13 se presentan las condiciones de frontera para el modelado dinámico.

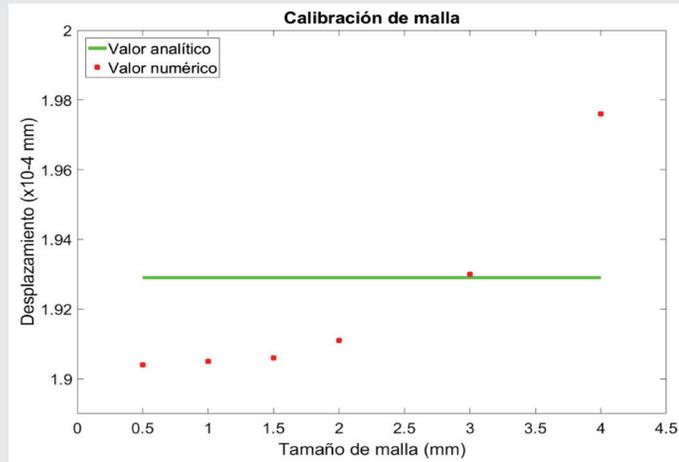


Figura 11.- Convergencia de malla.

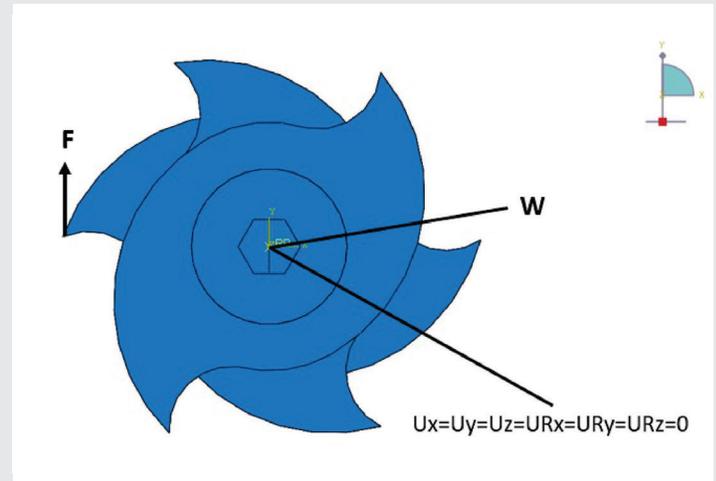


Figura 13.- Condiciones de frontera para modelado dinámico con fuerza resistiva

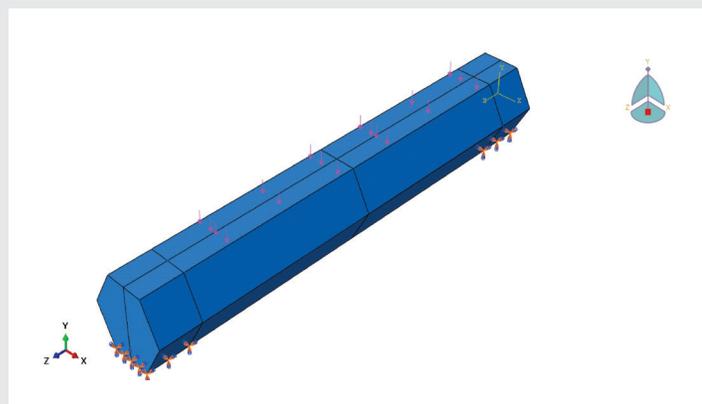


Figura 12.- Modelo discreto para análisis estático.

RESULTADOS

Análisis estático

Al someter el eje a cargas ejercidas por el peso de los componentes, se obtuvieron los resultados de esfuerzos mostrados en la Figura 14.

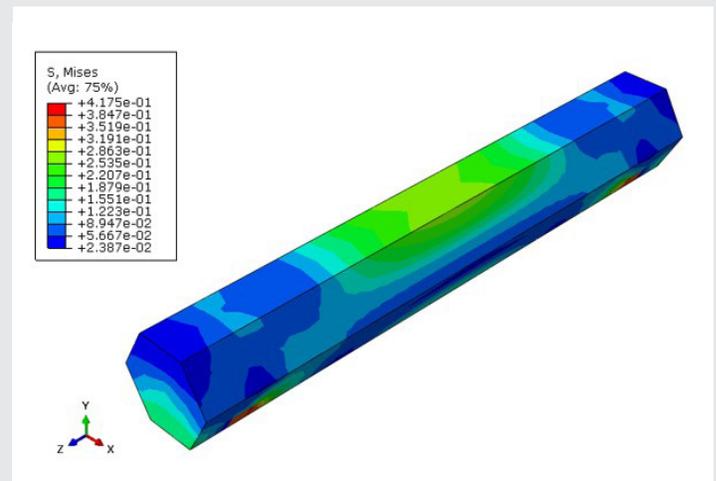


Figura 14.- Esfuerzos de Von Mises en el eje.

El análisis dinámico

El análisis dinámico consistió en dos partes; la primera en modelar el eje con una velocidad constante de giro, la cual es de 175 R.P.M [14] y así conocer los esfuerzos producidos por el movimiento del eje. La segunda parte consistió en modelar el movimiento de las cuchillas con una fuerza resistiva, la cual representa la fuerza de oposición del PET.

Para considerar una fuerza de oposición al giro representativa, se obtuvo la relación entre el esfuerzo último del PET [16] y el espesor de mayor magnitud en una botella de dicho material, con eso se obtuvo lo siguiente:

$$\sigma_u = \frac{F}{A} \quad \text{Ec (7)}$$

Donde:

σ_u = esfuerzo

F = fuerza opositora

A = área representativa

Despejando la ecuación 7, tenemos:

$$F = A * \sigma_u \quad \text{Ec (8)}$$

En los resultados se muestra que el eje presenta esfuerzos máximos cercanos a la fijación del eje, con valor de 0.69 MPa.

Con lo que respecta a la deflexión máxima en el elemento, se presenta en la mitad de este con valor de 1.930x10 - 4 mm como se observa en la Figura 15.

La validación del modelo discreto se realiza utilizando ecuaciones de equilibrio y teoría de vigas. Sustituyendo los valores en la ecuación 6 y 7 obtenemos lo siguiente:

$$\sigma = \frac{(870N \cdot mm)(11mm)}{14055mm^4} \quad \text{Ec (9)}$$

$$\sigma = 0.68MPa$$

$$\delta_{max} = \frac{-(57N)(122.24mm)^3}{192(2 \times 10^5 \frac{N}{mm^2})(14055mm^4)} \quad \text{Ec (10)}$$

$$\delta_{max} = 1.929 \times 10^{-4} mm$$

La comparación de los resultados obtenidos de manera numérica como analítica presenta una diferencia menor al 1%, de esta manera se valida el modelo discreto permitiendo continuar con las variaciones.

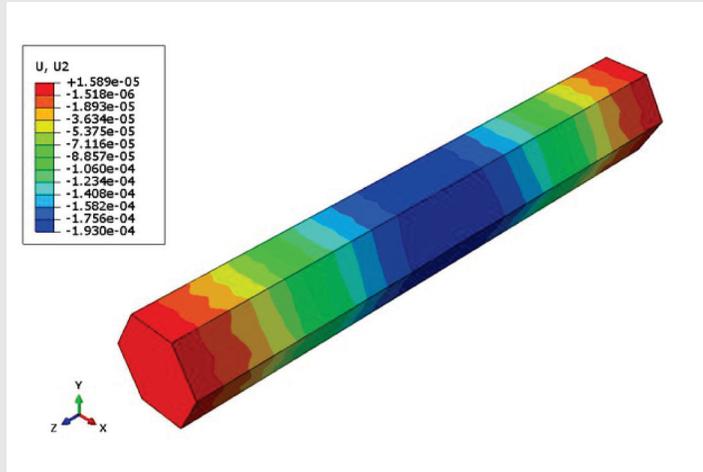


Figura 15.- Deformación en el eje.

Análisis dinámico.

El sistema se sometió a una velocidad de 175 R.P.M [11] para conocer los esfuerzos que se producen en el eje mediante la rotación del mismo en un giro de 180°, acoplado con los demás componentes. Los resultados de esfuerzos se presentados en la Figura 16.

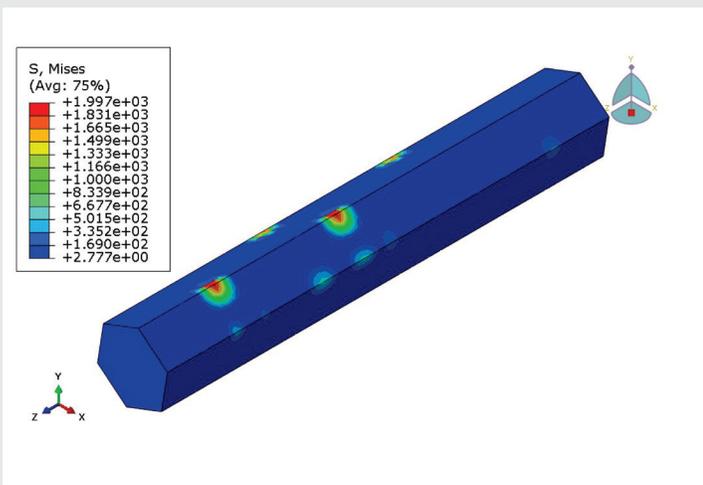


Figura 16.- Esfuerzos de Von Mises en el eje con rotación.

En los resultados se muestra que el eje presenta esfuerzos máximos en la zona de contacto con las cuchillas de corte con valor de 1,997 MPa.

Los resultados de esfuerzos en la cuchilla de corte se presentan en la Figura 17.

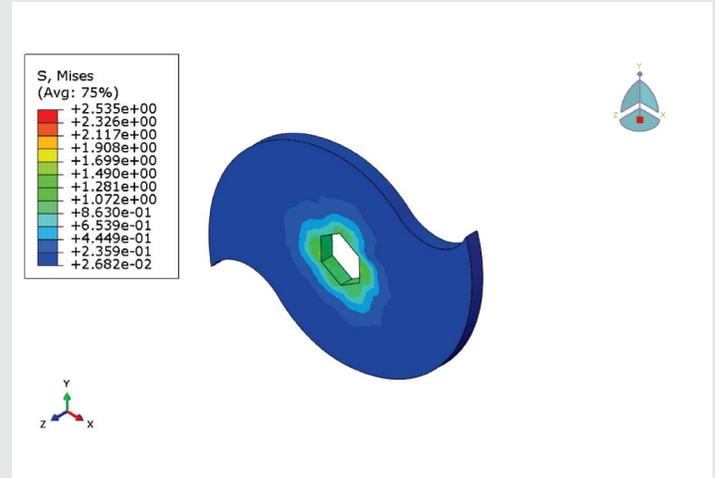


Figura 17.- Esfuerzos de Von Mises en la cuchilla de corte.

En los resultados se muestra que la cuchilla presenta esfuerzos máximos de contacto con valor de 2.5 MPa.

Para analizar el esfuerzo en las cuchillas y en el eje producido por el corte de una botella de PET, se consideró la fuerza que se requeriría para cortar la parte con mayor espesor de la botella, la cual presenta un espesor de aproximadamente 1.9mm. Con base a eso, se sustituyó en la ecuación 8, con la cual se obtuvo:

$$F = 3.61mm^2 * 85 MPa$$

$$F = 306.85N \quad \text{Ec (11)}$$

La fuerza obtenida se multiplicó por un factor de seguridad de 1.5 [11], esto con la finalidad de sobre estimar la fuerza necesaria para cortar la parte con mayor espesor de la botella; obteniendo así una fuerza de 460 N, la cual se incluyó en el análisis. Los resultados de esfuerzos en el eje se presentan en la Figura 18.

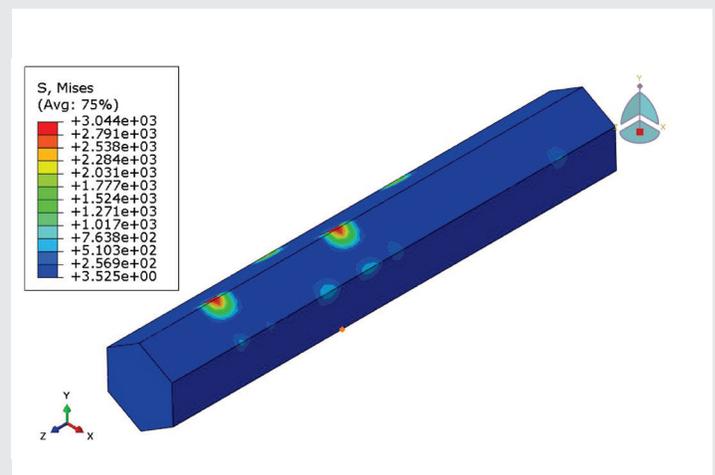


Figura 18.- Esfuerzos de Von Mises en el eje considerando fuerza en la cuchilla de corte

Los resultados de esfuerzos en la cuchilla de corte considerando una fuerza opositora se presentan en la Figura 19.

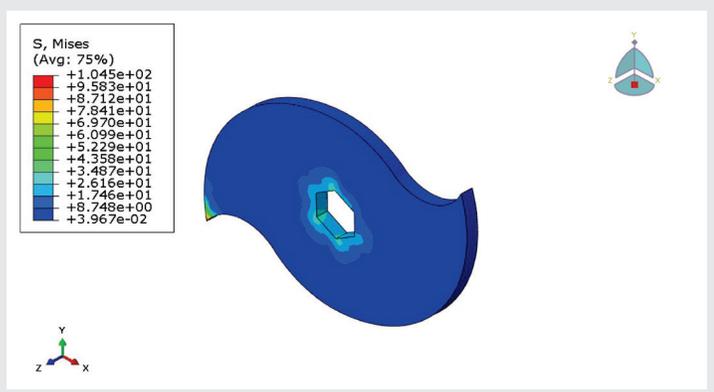


Figura 19.- Esfuerzos de Von Mises en la cuchilla de corte considerando fuerza de oposición.

En los resultados se muestra que la cuchilla presenta esfuerzos máximos de contacto con valor de 104 MPa.

CONCLUSIONES

Se propuso un sistema conformado principalmente por un eje, separador y cuchillas de corte, con la capacidad de triturar botellas de PET en sus diferentes dimensiones. La posibilidad de usar un eje hexagonal facilita el montaje y fijación de las cuchillas; la cantidad de elementos se reducen debido a la geometría del eje. Se concluye que el diseño de los elementos de corte y la utilización de un eje hexagonal para la trituración de botellas PET de distintas dimensiones es factible. Se verificó numéricamente que el sistema no presentara fallas considerando fuerzas equivalentes a la boquilla de las botellas PET, las cuales presentan un espesor mayor con respecto al resto de la botella. El eje hexagonal trabaja con un factor de seguridad de 1.5 [17].

Naturalmente, el factor de seguridad debe ser mayor que 1. Debido a que es el margen que se da en el diseño para así minimizar y evitar fallas en el sistema. Dependiendo de las circunstancias, los factores de seguridad varían de 1 hasta 10.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Semarnat, Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. México. 2016.

[2] S. Corrales C., "Industria del plástico en el noroeste de México y Texas , 1995-2005," Región Y Soc., vol. 47, pp. 1995-2005, 2010.

[3] K. Ragaert, L. Delva, y K. Van Geem, "Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste," Waste Manag., vol. 69, pp. 24-58, 2017

[4] Barreto, S., Diseño de Calzado Urbano, Editorial Nobuko, 2006, Vol. 1, ISBN: 987-584-041-6

[5] M. Pérez, Laura y R. Ruiz, Marcos, Reciclaje de botellas de PET para obtener fibra de poliéster, Ingeniería Industrial, núm. 27, 2009, pp. 123-137

[6] C. Frías, Arturo, Ize, Irina, Gavilán, Arturo La situación de los envases de plástico en México, Gaceta Ecológica, núm. 69, octubre-diciembre, 2003, pp. 67-82.

[7] INECC, Instrumentos y análisis económicos del mercado de botella pet post-consumo: el caso del municipio de Querétaro, 2014.

[8] Cámara de Comercio de Bogotá, Reporte de monitoreo sectorial, Sector de materiales pasticos Estados Unidos, 2010 ISBN: 978-958-688-375-7

[9] Torres Sandra, Mondragón José y Fuentes Valeria, Propuesta para el diseño de un triturador de PET con geolocalización, Revista de Aplicaciones de la Ingeniería, Junio 2016 Vol.3 No.7 46-542016

[10] Piero Espino, Alejandro Lizárraga, José V. Núñez, Josué A. Sapiens, Diseño de una máquina trituradora de PET, Investigación aplicada de las universidades politécnicas, 2017.

[11] G. Villalba Luz, P. Corral Carlos, M. López Edith, L. Ordaz León, Diseño y prototipo de una máquina trituradora de PET, CULCyT, 2014.

[12] Gonzalez G. Alvaro, Factores de Seguridad... Por qué tantos?, Encuentro de ingenieros de suelos y estructuras, 2009.

[13] V. Useche Libardo, Abdel Wahab Magd, Determinación del coeficiente de fricción entre cerdas de acero de cepillos laterales para barrer calles. Scientia et Technica Año XIV No 39,2008, ISSN 0122-1701.

[14] C. Vázquez Alfonso, E. Navarro Alejandro, G. López Antonio, Variantes de la Aplicación de la Viga Conjugada, en el Cálculo de Momentos de Empotramiento, Scientia et Technica Año XVII, No 52, pp. 32-37 2012, ISSN 0122-1701.

[15] S. R.Schmid, B. J.Hamrock, and B. O.Jacobson, Fundamentals of Machine Elements, 2014.

[16] MatWed (n.d.). Overview of materials for Polycarbonate/PET Polyester Blend. Obtenida el 25 de marzo de 2020. De la página electrónica: <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=dd853b4106ed405294583cb4978451c6>

[17] R. L. Norton, Diseño de Máquinas Un enfoque integrado, Cuarta Edi. México: Pearson Educación de México, S.A. de C.V., 2011.



Multidisciplinario
e
ingenierías

Ingeniantes

Tratamiento de agua residual de beneficio de café mediante un biofiltro de bajo costo



Colaboración

Iriana Hernández Martínez; Cristian Aldair Santiago Segura; Raúl Alejandro Limón Hernández; Verónica López Hernández; Fidel Alejandro Aguilar Aguilar, Universidad Tecnológica de Gutiérrez Zamora

Fecha de recepción: 08 de octubre de 2020

Fecha de aceptación: 11 de marzo del 2021

RESUMEN: El proceso industrial de beneficio de café genera una gran cantidad de agua residual con una alta concentración de contaminantes orgánicos. En caso de ser vertida sin tratamiento previo causa un impacto ambiental negativo debido a sus propiedades fisicoquímicas. En el presente trabajo se plantea como alternativa de tratamiento la implementación de biofiltros empacados de dos fases, la primera con piedra pómez que contengan biopelículas de *Saccharomyces cerevisiae* en su superficie porosa y la segunda con biocarbón. Se realizó una experimentación con un diseño factorial 22 donde los factores fueron el tiempo de formación de la biopelícula (24 h y 48 h) y el biocarbón (presente y ausente), incluyendo dos controles (piedra pómez con biocarbón sin biopelícula y piedra pómez sin biopelícula), el proceso se llevó a cabo durante 7 días. Los resultados mostraron que el mejor tratamiento fue el biofiltro que contenía biopelículas con un tiempo de maduración de 48 h. y biocarbón como empaque, obteniendo un porcentaje de remoción de hasta el 100% de la carga orgánica inicial.

PALABRAS CLAVE: Agua residual, Biopelícula, *Saccharomyces cerevisiae*, Biocarbón, Biofiltro.

ABSTRACT: Industrial coffee processing produces a large amount of wastewater which has a high concentration of organic pollutants. If the water is poured into rivers without a treatment, it causes a negative environmental impact due to its physicochemical properties. In this paper the implementation of two-phase packed biofilters (pumice with *Saccharomyces cerevisiae* and activated carbon) is proposed as an alternative treatment. It was used an experimental design 22 where the factors were the biofilm formation time (24 h and 48 h) and activated carbon (presence and absent), two controls (pumice and activated carbon without biofilm and pumice without biofilm). The process was carried out for 7 days. The results showed the best treatment was the biofilter containing biofilm of 48 h and activated carbon as packaging, obtaining a removal percentage of up to 100% of initial organic pollutants.

KEYWORDS: Waste water, Biofilm, *Saccharomyces cerevisiae*, Activated carbon, Biofilter.

INTRODUCCIÓN

El café es la segunda bebida más consumida en el mundo después del agua [1]. En el proceso de beneficio de café se requieren 130 litros de agua para una taza de café, es decir aproximadamente 18,900 litros para la producción de un kilogramo del mismo [2,3]. El agua residual proveniente del proceso, llega a contener principalmente materia orgánica (43% de pulpa, 12% de mucílago y 6.1% de pergamino), metabolitos como cafeína, alcaloides, taninos y entre otros. Dentro de sus propiedades fisicoquímicas resalta su alta acidez y bajo pH, por lo que al ser vertidos en cuerpos de agua sin tratamiento alguno generan un impacto ambiental negativo debido a que reducen la actividad fotosintética, inhiben el crecimiento

de especies acuáticas deseables, además, algunos de sus compuestos químicos como lignina, cafeína y melanoidinas provocan el color oscuro en ellas [4,5,6,7]. Las aguas residuales de la industria del café presentan compuestos lixiviados altamente contaminantes y por tal motivo requiere una debida atención a partir de la aplicación de diversas metodologías de depuración [8]. En los últimos años se han realizado diversos estudios utilizando metodologías para el tratamiento de estas aguas residuales, tal es el caso del uso de electrocoagulación, floculación química y uso de procesos avanzados de oxidación [9]. Sin embargo, la aplicación de estos métodos no ha logrado poner un fin a la problemática, debido a los altos costos de inversión inicial que dificultan la puesta en práctica de estas metodologías. Las aguas residuales de la industria del café necesitan atención debido a su comportamiento altamente contaminante y es necesario aplicar diversas metodologías de depuración [10]. La biofiltración utilizando piedra pómez como medio de soporte ha funcionado como una alternativa para la disminución de parámetros como la demanda química y biológica de oxígeno [11,12], el uso de piedra pómez como medio de soporte en aplicaciones de ingeniería ambiental ha crecido progresivamente desde 2005 y aumentó considerablemente entre 2010 y 2015 [13]. Es por ello que se propone la utilización en conjunto de biofiltros con piedra pómez que contienen biopelículas de *Saccharomyces cerevisiae* y biocarbón ya que de acuerdo a la literatura tienen capacidad de remoción de compuestos contaminantes [14,15]. La biofiltración es una técnica económica y sustentable para la eliminación de contaminantes biodegradables y tóxicos; su uso ha dado buenos rendimientos en la remoción de metales tales como cobre, cadmio y sólidos orgánicos volátiles [16,17]. El objetivo del trabajo fue evaluar la tasa de remoción de la carga orgánica mediante biofiltros en un lapso de 7 días donde por colorimetría se calcularon los porcentajes de remoción. Lo anterior bajo el supuesto que la carga orgánica podría ser retenida en los poros del material y las levaduras podrían consumir la carga orgánica que en su mayoría es mucílago y cáscara de café.

MATERIAL Y MÉTODOS

Materiales

Las muestras de agua residual (3.75 L) fueron tomadas en los vertederos de un beneficio de café localizado en el municipio de Huatusco, Veracruz. Se almacenaron en recipientes de polipropileno de alta densidad en un congelador que mantuvo las muestras entre 2 °C y 4 °C para evitar cualquier cambio en sus características fisicoquímicas.

La piedra pómez fue recolectada en la zona costera de la región de Tecolutla, Ver; y se redujo a un tamaño de aproximadamente 1 cm²; el biocarbón fue obtenido por calcinación a partir de olote (residuo de la mazorca de maíz). Los materiales de empaque fueron lavados y secados hasta peso constante para evitar que sus

partículas dieran alguna otra tonalidad al color del agua residual. La cepa de *Saccharomyces cerevisiae* se obtuvo del laboratorio de química de la Universidad Tecnológica de Gutiérrez Zamora (UTGZ).

Caracterización fisicoquímica

El pH, la temperatura, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales de las muestras de aguas residuales se midieron en el laboratorio de química de la UTGZ mediante un potenciómetro marca Hanna modelo HI98130 bajo las normas NMX-AA-008-SCFI-2000, NMX-AA-093-SCFI-2000. Los sólidos totales y volátiles se llevaron a cabo mediante la NMX-AA-034-SCFI-2001 y por último la acidez y alcalinidad del agua mediante la norma NMX-AA-036-SCFI-2001. Los análisis se realizaron para caracterizar el agua residual y monitorear el proceso en el biofiltro.

Activación y maduración de la cepa en la superficie filtrante

Este proceso se llevó a cabo en un vaso de precipitado de 1 L adicionando 100 g de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) seca, se agregaron 50 g de sacarosa en 1 L de agua y se mantuvo a 30 °C. La adaptación de la cepa se llevó a cabo durante 3 días agregando diluciones de agua residual en distintas concentraciones 25 %, 50 % y 75 %. Posteriormente, en el último día se vertió la biomasa a las piedras pómez para realizar la maduración (24 h y 48 h) [18].



Figura 1. Maduración de la Biopelícula en la piedra pómez.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño factorial mixto 22, los factores fueron tiempo de formación de la biopelícula y contenido de carbón (tabla 1), arrojando un total de 4 tratamientos realizados por triplicado. En donde la variable respuesta fue el porcentaje de remoción de contaminantes orgánicos medido en el periodo de 7 días de experimentación. Se adicionaron 2 tratamientos control con las mismas características exceptuando el uso de la biopelícula y la nomenclatura de los tratamientos se presenta en la tabla 2.

Tabla 1. Diseño experimental.

Factor	Niveles Valorados	
	Tiempo de formación de biopelícula.	24 h.
Biocarbón	Presencia	Ausencia

Tabla 2. Nomenclatura de los tratamientos.

Contenido del biofiltro	Nomenclatura
Biopelícula + Piedra pómez + Biocarbón.	BIO-P-C
Biopelícula + Piedra pómez	BIO-P
Control + Piedra pómez + Biocarbón	C-P-C
Control + Piedra pómez	C-P

Construcción de los biofiltros

Se construyeron 8 biofiltros de 18 cm de altura de acuerdo al diseño experimental empleado, con una relación diámetro altura de 1:10 para el empaque de biocarbón y el resto para el empaque de piedra pómez. Para los 4 biofiltros que contenían carbón se consideraron 3 cm para la cobertura del mismo y el restante para el empaque de piedra pómez. En masa se ingresaron a los biofiltros 30 g (carbón) por cada 750 ml de agua residual [10]. También se ingresaron 60 g de piedra con biopelícula (base seca), se hizo una separación entre ambos materiales con una malla fina para evitar la suspensión del carbón. Para los biofiltros que no llevaban el carbón sólo se ingresaron 60 gramos de la piedra pómez como se muestra en la figura 2.

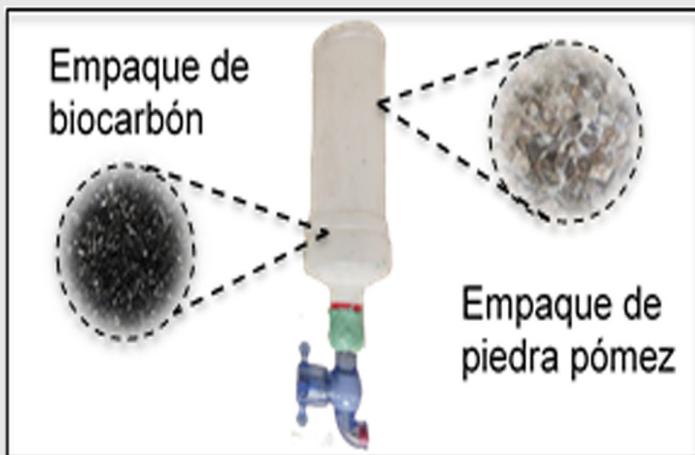


Figura 2. Diseño del biofiltro

Cálculo del porcentaje de remoción

La determinación del porcentaje de remoción se evaluó con la técnica fotocolorimétrica [19], que toma en cuenta la variación de turbidez (figura 3). El porcentaje de remoción se calculó con la ecuación:

$$\%Remoción = \left(\frac{T_i - T_f}{T_i} \right) (100\%) \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

T_i : Turbidez inicial de la muestra de agua.

T_f : Turbidez final de la muestra de agua.

100%: Expresión para obtener el valor en porcentaje.

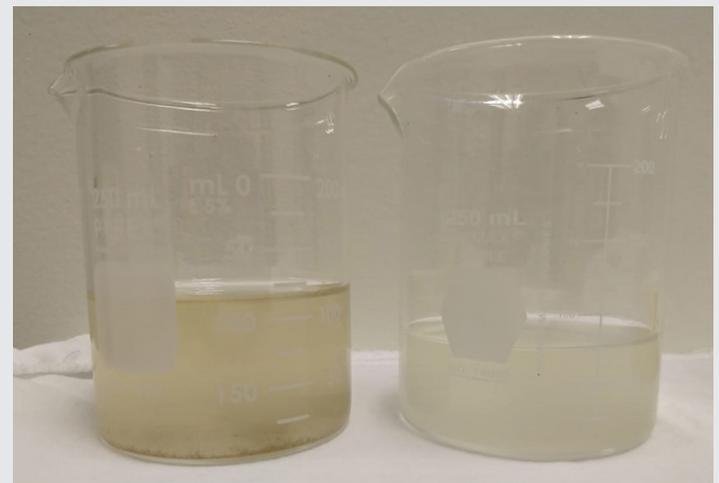


Figura 3. Limpieza del agua residual en el periodo de 7 días.

RESULTADOS

Caracterización fisicoquímica

De acuerdo a los análisis fisicoquímicos del agua residual que se muestra en la tabla 3 es evidente que esta agua residual estaba contaminada con carga orgánica además de materia disuelta y en suspensión.

Entre los resultados, se resaltan los valores de pH [20,21], quienes reportan valores de 4.27-4.44, demostrando estar en el rango de los valores obtenidos dada la composición del agua residual y la acidez de la misma. Los sólidos totales y volátiles en distintos artículos oscilan entre 995 mg/L y 267 mg/L respectivamente [22,23]. En comparación con los resultados obtenidos se tienen valores muy por debajo [24].

Tabla 3. Caracterización fisicoquímica inicial.

Parámetros	Valor
pH	4.08 ± 0.01
Conductividad eléctrica (µS/cm)	580 ± 1.930
Sólidos totales (mg/L)	4.5 ± 0.424
Sólidos volátiles (mg/L)	3.9 ± 0.424
Sólidos totales suspendidos (ppm)	337 ± 1.154
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	162.5 ± 3.535
Acidez (mg CaCO ₃ /L)	237.5 ± 17.67

La conductividad eléctrica obtenida fue de 580 ± 1.930 µS/cm. Comparado valores como 221 µS/cm y 993 µS/cm indicando que estos valores están en el rango presentado [25]. Para los valores de acidez y alcalinidad los valores obtenidos por el autor oscilaron entre 29 mg/L y 493 mg/L.

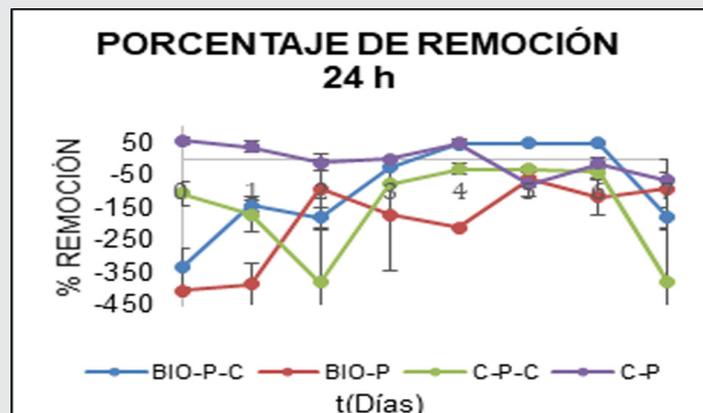
De igual forma el tratamiento que mostró mejores resultados fue el biofiltro con biopelícula, biocarbón y piedra pómez, obteniendo los resultados mostrados en la tabla 4.

Tabla 4. Caracterización fisicoquímica final.

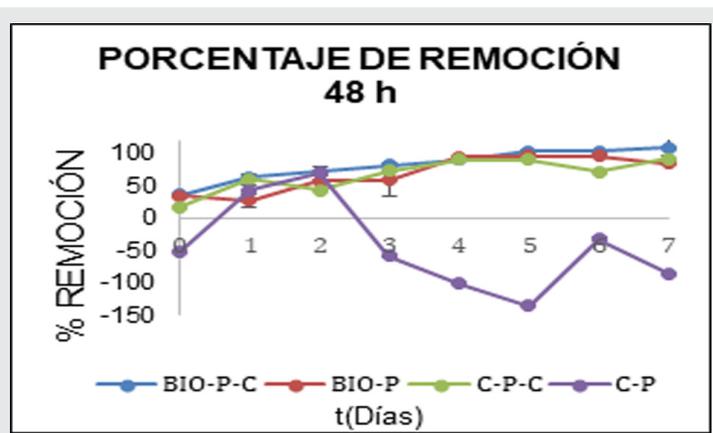
Parámetros	Valor
pH	5.56 ± 0.01
Conductividad eléctrica (µS/cm)	440 ± 2.730
Sólidos totales (mg/L)	1.8 ± 1.089
Sólidos volátiles (mg/L)	1.6 ± 1.830
Sólidos totales suspendidos (ppm)	100 ± 0.154
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	160.4 ± 2.250
Acidez (mg CaCO ₃ /L)	140.2 ± 1.355

Porcentaje de remoción

De acuerdo a la experimentación realizada se obtuvieron las gráficas de porcentaje de remoción del agua residual biofiltrada en un periodo de siete días, comprendiendo en los tiempos de maduración de 24 h y 48 h. Se puede apreciar en la gráfica 1 que el porcentaje de remoción con una formación de biopelícula de 24 h. El comportamiento de los tratamientos fue en descenso en función de los días de estancia en cada biofiltro, presentando porcentajes de remoción negativos infiriendo que la biopelícula no se formó totalmente y que pequeñas partículas de la piedra pómez se desprendían enturbiando el agua. Por otro lado, en la biopelícula formada en un tiempo de maduración de 48 h (gráfica 2), se aprecia que el mejor tratamiento fue el de biopelícula, piedra pómez y biocarbón (BIO-P-C) llegando a un porcentaje de remoción del 100 %, se observa que los tratamientos de piedra pómez con biopelícula (BIO-P) y el control de piedra pómez sin biopelícula y biocarbón (C-P-C) muestran comportamientos similares, asumiendo de esta manera que el tratamiento control (C-P-C) muestra un porcentaje de remoción aceptable. Finalmente se aprecia que el control de piedra pómez (C-P) en ambos tiempos no fue el mejor.



Gráfica 1. Porcentaje de remoción con la biopelícula formada en 24 h.



Gráfica 2. Porcentaje de remoción con la biopelícula formada en 48 h.

En los análisis estadísticos, se obtuvieron los valores de intercepto y pendiente, con el fin de evaluar las interferencias que pudieran existir entre los tratamientos y observar con ello si realmente son estadísticamente diferentes. De acuerdo al ANOVA se obtuvo un valor de R² ajustada de 0.986567 y 0.906151 para el intercepto y la pendiente respectivamente lo que indica que dentro de la experimentación hubo muy pocos ruidos experimentales que pudieran afectar a los resultados. El valor de p fue <0.0001* por lo cual se asume que alguno de los tratamientos es estadísticamente diferente.

Se realizó una prueba de Tukey (tabla 5) para la comparación de las medias entre parejas de los tratamientos. Se aprecia que hay 4 grupos diferentes de acuerdo a los tratamientos evaluados en donde los del grupo A presentaron un inicio similar de acuerdo al porcentaje de remoción, por lo cual los siguientes grupos iniciaron con valores diferentes. En contraparte la tabla 6 indica que el grupo B tiene un comportamiento similar en función del tiempo. Posiblemente esto fue debido a la maduración de la biopelícula de 48h y el uso en el biofiltro de carbón permitiendo que se obtenga mayor porcentaje de remoción en el periodo.

Tabla 4. Caracterización fisicoquímica final.

Parámetros	Valor
pH	5.56 ± 0.01
Conductividad eléctrica (µS/cm)	440 ± 2.730
Sólidos totales (mg/L)	1.8 ± 1.089
Sólidos volátiles (mg/L)	1.6 ± 1.830
Sólidos totales suspendidos (ppm)	100 ± 0.154
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	160.4 ± 2.250
Acidez (mg CaCO ₃ /L)	140.2 ± 1.355

Por último, se llevó a cabo una prueba Dunnett comparando la diferencia de las medias de los tratamientos y las medias de los controles, 24 C-P, 48 C-P, 24 C-P-C y 24 C-P-C por lo cual se sometieron a realizar 4 métodos para ver la diferencia estadística antes descrita. Se

observó que los tratamientos respecto a ambos controles fueron estadísticamente diferentes. Con esto se puede concluir que los controles son estadísticamente diferentes por lo cual existen mejores tratamientos que estos experimentos.

Tabla 5. Valores de la media en el intercepto.

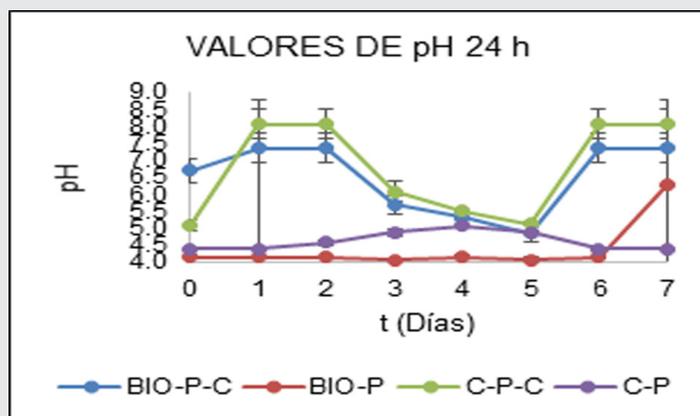
Nivel		Media
24 h C-P	A	53.6391
24 h BIO-P-C	A	50.5626
48 h C-P-C	A B	34.1600
48 h BIO-P	A B	32.5099
48 h C-P	B	-10.9395
24 h C-P-C	C	-143.7837
24 h BIO-P-C	C	-188.6685

Tabla 6. Valores de la media de la pendiente.

Nivel		Media
24 h BIO-P	A	42.904
24 h BIO-P-C	A	33.385
48 h BIO-P	B	10.187
48 h BIO-P-C	B	8.904
48 h C-P-C	B	8.489
24 h C-P-C	B	-2.180
24 h C-P	C	-14.980

Medición de pH en el periodo de 7 días

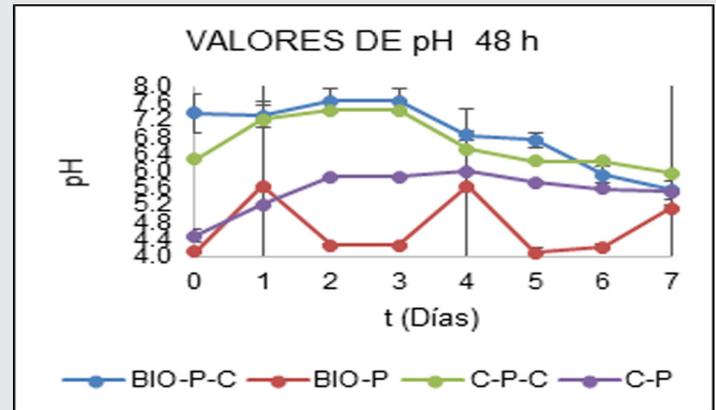
Los resultados obtenidos de pH en el periodo de biofiltración de 7 días se pueden apreciar en las gráficas 3 y 4 en un tiempo de maduración de 24 h y 48 h respectivamente apreciando que el pH aumenta en función del tiempo, considerando el valor inicial obtenido en la caracterización fisicoquímica.



Gráfica 3. Comportamiento del pH para los biofiltros con maduración de 24 h.

Gráficamente se puede apreciar que se obtiene hasta un valor de 7.5 y 8.07 para el BIO-P-C y el C-P-C respectivamente para el tratamiento de 24 h. y valores de 5.95 para el de 48 h. De acuerdo a

[26], el cual tuvo una disminución de pH de acuerdo a la formación de biopelícula en una superficie de piedra pómez, reduciendo el valor de 9 a 5 en un periodo de 6 días, similar a lo obtenido para el tratamiento de 48 h.



Gráfica 4. Comportamiento del pH para los biofiltros con maduración de 48 h.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede concluir que la biofiltración para el tratamiento del agua residual producida en el proceso de beneficio de café es viable, utilizando *Saccharomyces cerevisiae* para la formación de una biopelícula en una superficie porosa como la piedra pómez y biocarbón. La caracterización fisicoquímica de esta agua en los parámetros de sólidos totales, sólidos volátiles, pH, TDS y conductividad eléctrica demuestran que esta agua residual tiene gran cantidad de contaminantes orgánicos. Gracias al análisis estadístico realizado relacionando los factores de la experimentación y en función de las variables respuestas, se mostró una diferencia estadística entre los tratamientos evaluados por medio de los análisis de ANOVA, Tukey y Dunnett. Estos mostraron que el mejor tratamiento fue el de biopelícula con biocarbón como empaque para el biofiltro (48 h. BIO-P-C). De acuerdo a la NOM-002-ECOL-1996, el pH del agua residual incumplía los límites máximos permisibles, los resultados finales muestran que los tratamientos implementados logran aumentar el pH cumpliendo con los requerimientos de la misma. Esta investigación nos indica que existen oportunidades de mejora como proponer un sistema de aireación dentro del proceso de biofiltración para considerar las caídas de presión que pueda tener el proceso que provocaría una resistencia en el flujo de salida, además de las zonas de transferencia de masa como cada uno de los empaques observando el comportamiento de absorción de cada material en el periodo de tiempo evaluado. Del mismo modo se plantea que este proceso puede ser utilizado en un tratamiento de agua más complejo, puesto que a pesar de disminuir los sólidos totales disueltos estos no se eliminan por completo, por lo que se sugiere como opción de aplicación someter el agua residual a un tratamiento previo de electrocoagulación y posteriormente al pro-

ceso de biofiltración para aprovechar los beneficios de ambas metodologías.

BIBLIOGRAFÍA

[1] SIAP, S. (2017). *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, Secretaría de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Bovino leche, población ganadera 2006–2015.*

[2] Rodríguez, A. (2019). *Cerveza, café y chocolate ¿Cuánta agua se necesita para producirlos? Obtenida el 20 de marzo de 2019, de la página electrónica: <https://news.culturacolectiva.com/mundo/chela-cafe-y-chocolate-cuanta-agua-se-necesita-para-producirlos/>.*

[3] Rodríguez, A. (2019). *Cerveza, café y chocolate ¿Cuánta agua se necesita para producirlos? Obtenida el 20 de marzo de 2019, de la página electrónica: <https://news.culturacolectiva.com/mundo/chela-cafe-y-chocolate-cuanta-agua-se-necesita-para-producirlos/>.*

[4] Sahana M, Srikantha H, Mahesh S, Swamy MM (2018) *Coffee processing industrial wastewater treatment using batch electrochemical coagulation with SS and Fe electrodes and its combinations, recovery and reuse of sludge. Water Sci Technol 78:279–289.*

[5] Navitha K, Kousar H (2018) *A comparative study on the potential of Aspergillus niger and Aspergillus flavus for the treatment of coffee processing effluent. Int J Environ Ecol Fam Urban Stud 8(4):17–22.*

[6] Morales Buitrago, C., & Mejía González, C. A. (2016). *Evaluación del desempeño de un biodigestor para el tratamiento de mieles de café procedentes del becolsub en los tiempos de menor retención, en el municipio del Águila-Valle del Cauca.*

[7] Pérez TZ, Geissler G, Hernandez F (2007) *Chemical oxygen demand reduction in coffee wastewater through chemical flocculation and advanced oxidation processes. J Environ Sci 19:300–305.*

[8] Cardenas A, Zayas T, Morales U, Salgado L (2009) *Electrochemical oxidation of wastewaters from the instant coffee industry using a dimensionally stable Ru/CoOx Anode. ECS Trans 20(1):291–299.*

[9] Shanthakumar SG (2018) *Coffee mini review (1). Indian J Environ Prot 38(3):213–220.*

[10] Devi, R., Singh, V., & Kumar, A. (2008). *COD and BOD reduction from coffee processing wastewater using Avacado peel carbon. Bioresource technology, 99(6), 1853–1860.*

[11] T. Liu, Z.-L. Wang, X. Yan, B. Zhang, (2014). *Removal of mercury (II) and chromium (VI) from wastewater using a new and effective composite: Pumice-supported nanoscale zero-valent iron, Chem. Eng. J. 245 34–40.*

[12] Al Kholif, M., & Abdul Jumali, M. (2017). *The Effect of Pumice Stone Media in Reducing Pollutant Load in Grey Water by Using Anaerobic Biofilter. In Proceedings of the 2nd International Symposium of Public Health (Vol. 1, pp. 10–16).*

[13] Çifçi, D. İ., & Meriç, S. (2016). *A review on pumice for water and wastewater treatment. Desalination and Water Treatment, 57(39), 18131–18143.*

[14] Whitfield, G. B., Marmont, L. S., and Howell, P. L. (2015). *Enzymatic modifications of exopolysaccharides enhance bacterial persistence. Frontiers in Microbiology, 6.*

[15] Rabah, A. B., Ibrahim, M. L., Ijah, U. J., & Manga, S. A. B. (2011). *Assessment of the efficiency of a yeast biofilter in the treatment of abattoir wastewater. African Journal of Biotechnology, 10(46), 9347–9351.*

[16] Rodríguez, A. (2019). *Cerveza, café y chocolate ¿Cuánta agua se necesita para producirlos? Obtenida el 20 de marzo de 2019, de la página electrónica: <https://news.culturacolectiva.com/mundo/chela-cafe-y-chocolate-cuanta-agua-se-necesita-para-producirlos/>.*

[17] He, H., Xiang, Z., Cheng, X., Chen, H., Huang, H., Wen, M. and Yang, C. (2017). *Biosorción of Cd (II) from synthetic wastewater using dry biofilms from biotrickling filters. International Journal of Environmental Science and Technology. 15(1): 1491–1500.*

[18] Lale, M., Temoçin, Z., & Bag, H. (2001). *Sorption behaviour of copper (II), zinc (II) and nickel (II) on formaldehyde cross-linked Saccharomyces cerevisiae immobilized on pumice stone. Fresenius Environmental Bulletin, 10(9), 736–740.*

[19] Limón, R., Centeno, J., López, V., Morales, E. (2017). *Validación de prototipos con mínima instrumentación a través de análisis fisicoquímicos en agua. Impulso tecnológico 16 (40): 246–247.*

[20] Rattan, S., Parande, A. K., Nagaraju, V. D., & Ghiwari, G. K. (2015). *A comprehensive review on utilization of wastewater from coffee processing. Environmental Science and Pollution Research, 22(9), 6461–6472.*

[21] Sujatha, G., Shanthakumar, S., & Chiampo, F. (2020). *UV Light-Irradiated Photocatalytic De-*

gradation of Coffee Processing Wastewater Using TiO₂ as a Catalyst. *Environments*, 7(6), 47.

[22] Matuk, V., Puerta, G. I., Rodríguez, N. (1998). Impacto biológico de los efluentes del beneficio húmedo de café. *Cenicafé* 48(4): 234-252. 1997.

[23] Zuluaga V., J. Los factores que determinan la calidad del café verde. In: FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ., Conferencia, 2005. p. 167-18.

[24] Montoya, A. C. V., da Silva Mazareli, R. C., Delforno, T. P., Centurion, V. B., Sakamoto, I. K., de Oliveira, V. M., ... & Varesche, M. B. A. (2019). Hydrogen, alcohols and volatile fatty acids from the co-digestion of coffee waste (coffee pulp, husk, and processing wastewater) by applying autochthonous microorganisms. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(39), 21434-21450.

[26] FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. *Tecnología del cultivo del café*. Manizales, Comité Departamental de Cafeteros de Caldas - Cenicafé, 1987. 404p.



Ciencias
de la
Computación

Ingeniantes

Uso de herramienta SIATL, DENUe e insumos de INEGI en la simulación de inundaciones en la cuenca baja del Rio Misantla, Veracruz, México.

RESUMEN: El presente proyecto se lleva a cabo en base a los siniestros ocurridos en la ciudad de Misantla Veracruz, los cuales afectaron en gran medida la infraestructura y la integridad de los pobladores. Haciendo uso de las nuevas tecnologías que se han desarrollado, se trabaja en un modelo hidrológico de impacto producido por avenidas máximas, ocasionadas por precipitaciones y escurrimientos en la cuenca a la cual pertenece el rio Misantla, dicho modelo se diseñara por medio de un conjunto de softwares tales como Arc Map, SIATL entre otros.

Este tipo de programas, al ser retroalimentados con datos hidro-meteorológicos de la zona, auxilian en la interpretación y comprensión de distintos fenómenos naturales, tales como las avenidas máximas (inundaciones).

Con este modelo se pretende adoptar nuevas y mejores medidas de prevención para hacer frente a futuras inundaciones tanto para el sector civil como el agrícola y pecuario y así reducir el impacto directo que estas producen.

PALABRAS CLAVE: Inundación, Fenómenos hidrometeorológicos, Prevención, SIG.



Colaboración

Humberto Raymundo Gonzalez Moreno; Jorge Cruz Salazar; Isane Ruano Mora; Raúl Camilo Vélez Mujica; Modesto Sánchez Díaz, Tecnológico Nacional de México / Campus Misantla

Fecha de recepción: 20 de noviembre de 2020

Fecha de aceptación: 11 de marzo del 2021

ABSTRACT: This project is carried out based on the sinister that occurred in the city of Misantla Veracruz, which greatly affect the infrastructure and integrity of the residents. Making use of the new technologies that have been developed, a hydrological model of impact produced by maximum floods, caused by rainfall and runoff in the basin to which the Misantla River belongs, is worked on, said model will be designed by means of a set of softwares such as Arc Map, SIATL among others.

This type of program, being fed back with hydro-meteorological data from the area, helps in the interpretation and understanding of different natural phenomena, such as maximum floods (floods).

This model intended to adopt new and better prevention measure to face future float for both social and agricultural and it also the livestock sectores, that way it can be reduce their impact.

KEYWORDS:

Flood, Hydrometeorological Phenomena, Prevention, GIS.

INTRODUCCIÓN

El agua presente en el planeta tierra juega un papel ambiguo y contrariante; es un elemento de importancia vital [1] ya que, sin la presencia de esta, la vida en este planeta no sería posible [2] pero de manera contraria, también ha protagonizado acontecimientos catastróficos con saldos rojos, inclusive en apartados históricos se hace alusión al inmenso poder que la madre naturaleza puede demostrar utilizando este elemento esencial [3]. Hoy en día es muy común escuchar en los medios de comunicación, o leer en medios impresos, sucesos desastrosos ocasionados por la presencia excesiva de agua; entre esos fenómenos se pueden enlistar; inundaciones, maremotos, deslaves, etcétera [4] Es por ello que uno de los objetivos principales del desarrollo tecnológico es poder prevenir dichos fenómenos meteorológicos [5]. Más de un autor cita entre líneas que un proyecto nace con la finalidad de dar solución a un problema. Basándose en lo anterior descrito nace este proyecto que pretende analizar, interpretar y prevenir algunos de los fenómenos meteorológicos que afectan a la población de la ciudad de Misantla Veracruz, entre los más memorables se encuentran los sucedidos en el año de 1995 y el 13 de septiembre de 2013 [6]

Una de las principales herramientas utilizadas en este proyecto para el tratamiento del problema ya descrito, será el uso de SIG (sistema de información geográfica), que se puede definir como la digitalización de elementos físicos del medio, ya sea por medio de una imagen Ráster o Vectores [7]. Estos sistemas han sido muy aplicables, en las últimas décadas, en el manejo de datos hidro-meteorológicos de gran magnitud ya que permite analizar e interpretar a detalle todas las variables que conllevan dichos fenómenos, de ahí su gran utilidad.

Tabla 1. Pérdida económica y cota máxima de inundación de los fenómenos meteorológicos más importantes en Misantla

Año	Eventos	Cota de inundación	Pérdidas económicas en US\$
1995	Huracán Roxanne	312 m.s.n.m.	1,711,254.71
2013	Huracán Ingrid	306 m.s.n.m.	127,246,699.54

La principal finalidad del uso de los sistemas de información geográfica [8] es obtener las herramientas necesarias para llevar a cabo una simulación de inundación de la cuenca del río Misantla, teniendo como principal zona de estudio, el área aledaña al puente Rafael Murillo Vidal. Dicha actividad arrojará fuertes resultados aplicables a la vida cotidiana de la población de esta ciudad. Dicho trabajo digital arrojará un posible polígono de afectación de la zona estudiada, donde por medio del análisis detallado se pueda inferir el daño que una avenida máxi-

ma pueda provocar de manera directa o indirecta a los sectores privado y público que se encuentren en la zona de estudio. De igual manera se pretende prevenir afectaciones a las diversas estructuras que representan mayor importancia para la población, tales como los puentes y caminos que comprenden la infraestructura vial de la ciudad, esto para evitar se repita lo sucedido el día 13 de septiembre de 2012 cuando el aproche del puente Rafael Murillo Vidal cedió ante la fuerte presión que el cauce del río ejercía sobre él. Esto ocasiono serias afectaciones ya que esta es una de las principales fuentes de comunicación de la ciudad con la capital del estado, siendo esta prioritaria debido a los servicios que en dicha ciudad se encuentran [9].

Para lograr crear dicha simulación fue necesario el uso de una página de extensión del INEGI conocida como Mapa DENUE (directorío estadístico nacional de unidades económicas), por medio de este será posible cuantificar las pérdidas económicas y humanas a causa de futuras inundaciones [10]. Cabe recalcar que debido a la posición geográfica de nuestro país, este se ve afectado por un sin número de fenómenos meteorológicos de gran magnitud, por tal razón el gobierno federal ha optado por estas tecnologías (SIG) [6], una muestra de ello es la base de datos recabada en la página del INEGI, la cual pone a disposición de cualquier persona información de todo el territorio comprendido por la república mexicana, datos que comprenden desde topografía, edafología hasta uso de suelos [11] Una vez obtenido el polígono de afectación y de conocer las unidades económicas que se verían afectadas por una inundación donde se pretende crear un antecedente disponible para para recrear escenarios históricos de catástrofes en la cuenca del Río Misantla.

MATERIAL Y MÉTODOS

Ubicación de la cuenca.

Para iniciar a desarrollar este proyecto fue necesario delimitar, georreferenciar, estudiar y analizar la cuenca a la que pertenece el cauce del río Misantla de la región hidrográfica RH27Ae la cual cuenta con una superficie de 25415.63 ha. Para delimitar la cuenca fue necesario descargar las cartas topográficas E14B17 Y E14B27 de la página web del INEGI, una vez obtenida la carta se hizo uso del software AutoCAD para la visualización y delimitación de esta, por medio de polilíneas. Como paso siguiente se exporto el polígono creado al software ArcMap, se logró la georreferenciación de este por medio de un shape descargado de la página web del INEGI previamente cargado el cual ya estaba georreferenciado. Posteriormente se realizó una superposición del polígono de la cuenca para que este adoptara las características del shape antes mencionado con la ayuda de las herramientas en ArcMap

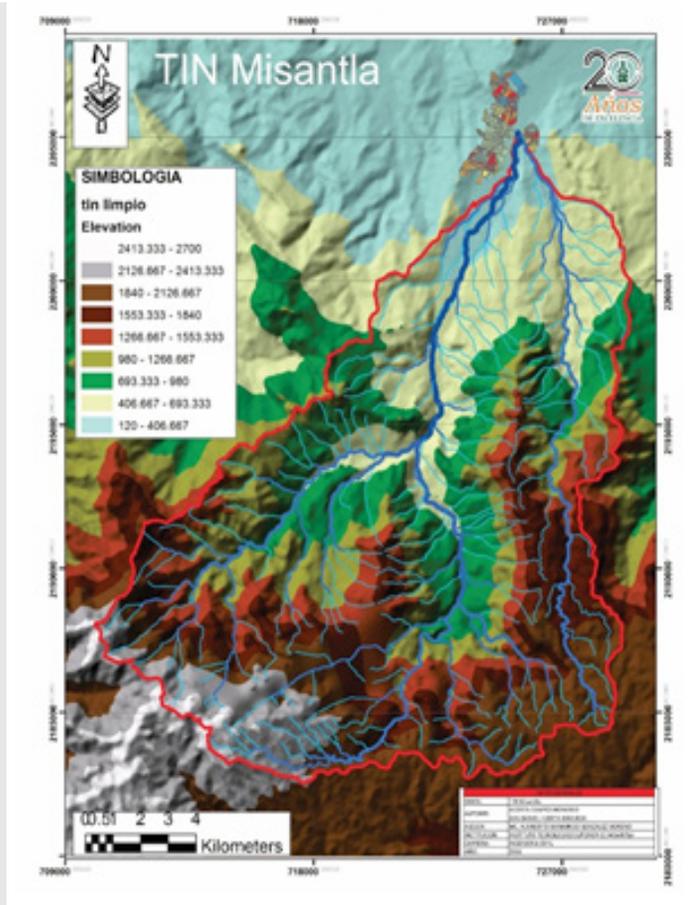


Figura 1. Mapa Cuenca del Río Misantla, Triangular Irregular Network (TIN).

y temperatura para su posterior análisis. Se manejó la información de manera tal que se obtuviera una temperatura promedio diaria y una precipitación promedio anual, de cada municipio. Una vez obtenidos los datos anteriormente descritos se procedió a situar las estaciones climatológicas dentro de la cuenca representadas por medio de un shape tipo point (de punto), colocadas las estaciones en sus respectivas posiciones fueron estas alimentadas con los datos obtenidos y analizados de CONAGUA. Dichos datos se resumen en la tabla que a continuación se presenta:

Tabla 2. Tabla de normales climatológicas de la cuenca de Misantla

Estación	Precipitación	Temperatura
1	19.25	21.38
2	8	20.36
3	6.98	12.637
4	12.08	22.92

En esta tabla se aprecia la información recabada de 4 estaciones climatológicas, siendo la numero 4 la de perote, pero esta se descartó debido a su lejanía con la zona estudiada.

Posteriormente se llevó a cabo una interpolación con los datos de precipitación y temperatura utilizando el programa ArcMap. Por medio de este se obtuvo una imagen formato grid con una Cell size de 100,100. Se procedió a reclasificar el tema de colores de dicho gráfico para una correcta interpretación. Este tipo de procedimiento se aplicó a los dos tipos de datos utilizados.



Figura 2. Metodología del proceso de estudio y análisis de la cuenca para el desarrollo del proyecto

Obtención y análisis de datos.

La fuente de información de donde se obtuvieron los datos hidro-meteorológicos recabados desde 01/02/2000 al 31/12/211 fue CONAGUA (Comisión Nacional del Agua), específicamente se analizaron los datos recabados por 3 estaciones meteorológicas las cuales fueron Misantla con coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) N-2204947, E-724459, Naolinco con coordenadas UTM N-2167301, E-732429, Martínez con coordenadas UTM N-2221288, E-702457, todas ellas pertenecientes a la zona 14 De igual manera se investigó en la base de datos de CONAGUA las normales climatológicas de precipitación

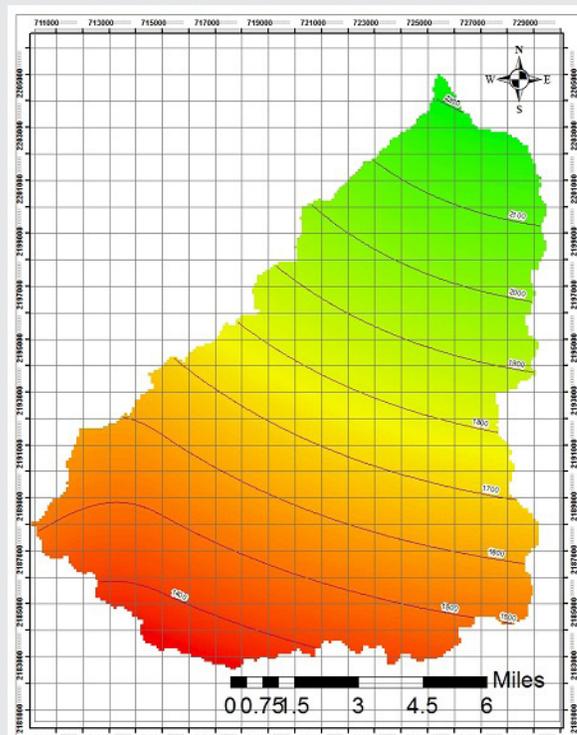


Figura 3. Cuenca del Río Misantla, Mapa de Isoyetas.

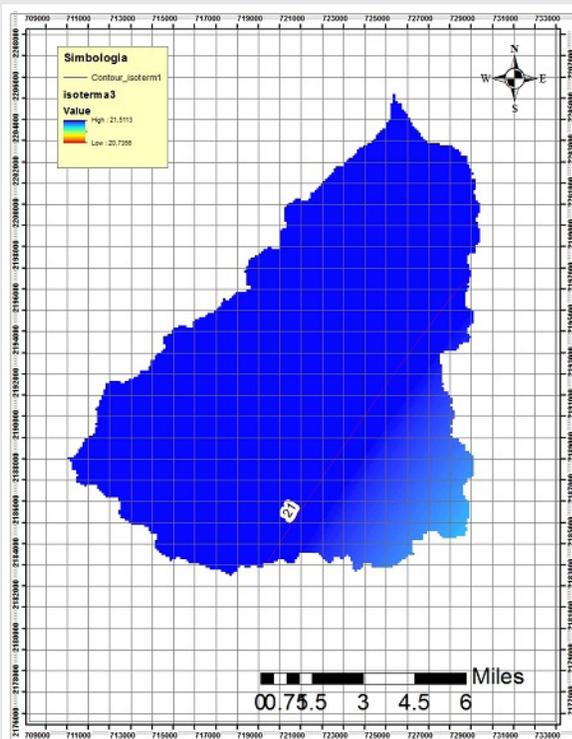


Figura 4. Cuenca del Río Misantla, Mapa de Isotermas.

Como siguiente paso se procedió a delimitar las variables trabajadas, isoyetas e isotermas, por medio de contornos mediante la herramienta de:

ARCToolbox

Una vez hecho lo anterior se continuo con el etiquetado de dichos parámetros, obteniendo los siguientes productos: mapas de isoyetas e isotermas.

Superposición Ráster

Después de haber obtenido los primeros resultados del software ArcMap fue necesario aplicar el uso de algebra de mapas para lo cual se necesitó contar con las diversas fórmulas que conforman el álgebra de mapas. La fórmula primordial a utilizar fue la del balance hídrico:

$$BH=PP/ETP \quad Ec 1$$

Donde:

BH= Balance hídrico

PP= Precipitación promedio

ETP= Evapotranspiración potencial

*ETP= 58.93*Temp*

Donde:

Temp=Temperatura

Para llevar a cabo una superposición raster es necesario contar con imágenes en formato GRID, dichas imágenes fueron las obtenidas en el apartado anterior. La ruta para el ingreso de la formula fue mediante la herramienta de:

ARCToolbox

Una vez ingresadas las fórmulas y al haber sido aplicadas a las imágenes GRID ya mencionadas el software generó un gráfico, el cual se le tuvo que reclasificar el tema de colores con los siguientes parámetros:

- BH>1=EXCESO HIDRICO*
- BH=1=ESTABILIDAD HIDRICA*
- BH<1=DEFICIT HIDRICO*

De igual manera se definieron y etiquetaron los contornos del mismo. Con este mapa se concluyó que la cuenca del río Misantla está comprendida por un 82.92% de exceso hídrico y el otro 17.08% se encuentra en balance hídrico, el cual se localiza en las cotas más elevadas de esta cuenca.

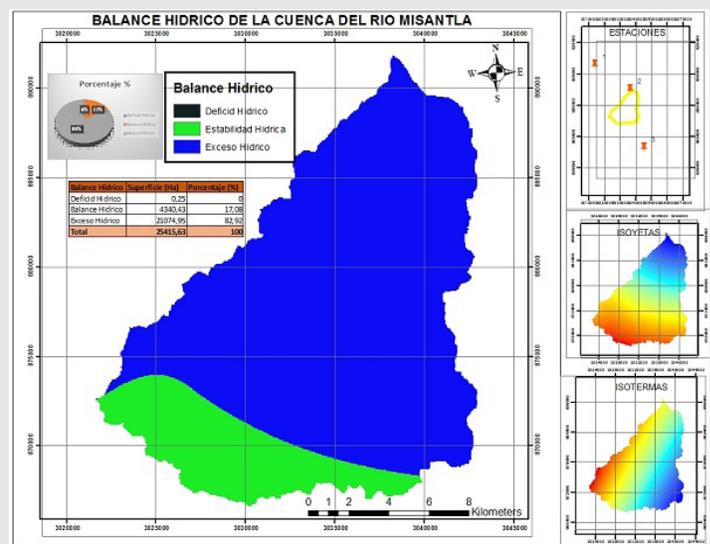


Figura 5. Cuenca del Río Misantla, Mapa de Balance Hídrico.

Después de trabajar con el balance hídrico se prosigió a elaborar el mapa de capacidad de uso mayor de suelo en la cuenca de Misantla, para esto se utilizó el shape obtenido de la página web del INEGI de altimetría con una precisión de 20 metros.

Por consiguiente se procedió a generar un mapa de pendientes con la caja de herramientas ARCToolsbox del software ArcMap, con el que se obtuvo un gráfico en formato GRID el cual se reclasificó de la siguiente manera, donde existiera poca pendiente el terreno sería usado para cultivos agrícolas, y donde hubiera pendientes más pronunciadas el terreno es utilizado como pastizal o en dado caso con fines forestales, como último intervalo, donde existen pendientes muy pronunciadas se utiliza como área de protección ya sea como cerro o barrancos, donde existe presencia abundante de vegetación. Gracias a la reclasificación e interpretación de este grafico se pudo conocer el potencial de uso de suelo de la cuenca a la que pertenece el río Misantla.

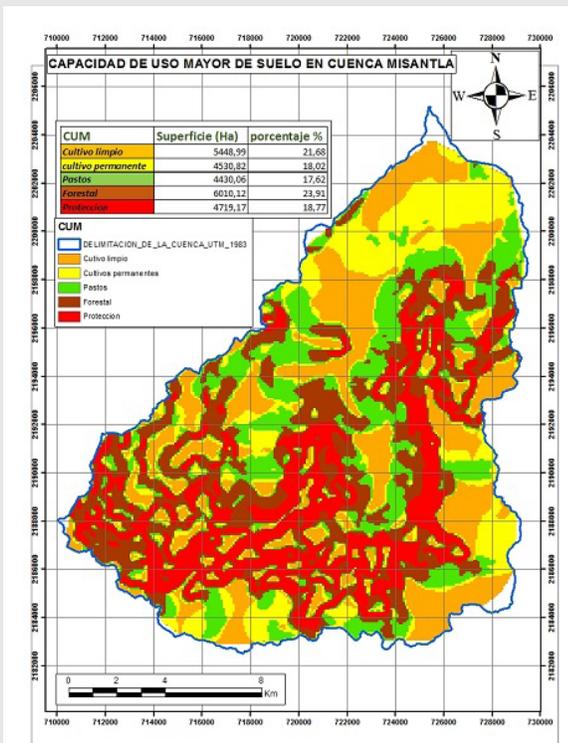


Figura 6. Cuenca del Río Misantla, Capacidad de uso de suelo.

Una vez obtenidos y analizados los mapas, se auxilió el avance de este proyecto por medio de una página web.

Gracias al software SIATL se obtuvieron las posibles cotas inundables al presentarse una avenida máxima con respecto a los periodos de retorno.



Figura 7. Interfaz SIATL

Por consiguiente, se realizó una superposición raster con los mapas antes mencionados, para obtener un polígono que diera a conocer con un alto índice de exactitud, las zonas que pongan en riesgo la integridad física de la población civil y de las estructuras. (Zonas de riesgo).

Tabla 3. Tabla de periodos de retorno de la cuenca de Misantla

PERIODO DE RETORNO CUENCA DEL RIO MISANTLA					
FECHA	LLUVIA (mm)	LLUVIA ORDENADO (mm)	NUMERO DE ORDEN (m)	PERIODO DE RETORNO (T)	PROBABILIDAD (p)%
2000	202	355	1	12	0.08333
2001	152	340	2	6	0.16666
2002	123	202	3	4	0.25
2003	130	187	4	3	0.33333
2004	130	152	5	2.4	0.41666
2006	122	148	6	2	0.5
2007	148	130	7	1.71423	5.83333
2008	340	130	8	1.5	0.66666
2009	187	128	9	1.33333	0.75
2010	355	123	10	1.2	0.83333
2011	128	122	11	1.09091	0.91666

Una vez obtenido este polígono, con la finalidad de cuantificar el posible daño ocasionado, se utilizó la herramienta de INEGI conocida como DENUE (directorio estadístico nacional de unidades económicas), el cual da a conocer el daño directo al municipio mediante un enlistado de las unidades económicas que se verían afectadas por la avenida máxima.

Al obtenerse dicha cuantificación, del posible daño, quedo plantada la idea de plasmar este proyecto en una aplicación móvil, con la finalidad de que cualquier persona pueda contar con dicha aplicación; la cual daría pie a nuevos procesos preventivos ante posibles inundaciones.

RESULTADOS

Con este proyecto se obtuvo un mapa digital el cual nos muestra la posible zona de riesgo afectada, ante la presencia de alguna avenida máxima ocasionada en la cuenca del río Misantla, asimismo se identificaron las zonas en las cuales sería factible el plantío de diferentes cultivos de acuerdo a la vulnerabilidad de la zona considerando las diferentes pendientes del terreno, también será posible generar una alerta para la posible reubicación de las familias que habitan en la zona más vulnerable y de peligro, para así evitar posibles pérdidas futuras, tanto económicas como humanas a causa de alguna avenida máxima, y así mantener un historial preventivo el cual evite la urbanización de esta zona.

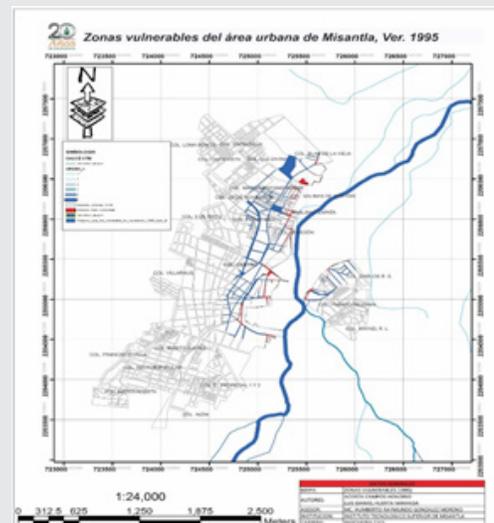


Figura 8. Mapa de zonas vulnerables del área urbana de Misantla, Veracruz, México 1995.

En la figura anterior se presenta una precipitación de 463 mm. de lluvia, resultaron afectadas las siguientes colonias: Plan de la Vieja, Salinas de Gortari, Marco Antonio Muñoz, 20 de noviembre, Emiliano Zapata, Peñafiel, Aviación, y la colonia centro. Damnificando a un sin número de habitantes. Este es un mapa NAME (nivel de agua máxima extraordinaria). Los datos de este mapa son resultados de la interpretación de la información obtenida de los pobladores de la ciudad.

Tabla 4. Cotas vulnerables de inundación

AÑO	GASTO (m3/s)	METROS ARRIBA (m)	COTA INUNDABLE
1995	2250	6	312
2000	982.53	6	304
2001	739.33	5	303
2002	598.34	3	301
2003	632.32	4	302
2004	632.32	4	302
2006	593.9	3	301
2007	719.87	4.5	302.5
2008	1653.9	10.3	308.3
2009	909.64	5.7	303.7
2010	1726.94	11	309
2011	622.59	3.8	301.8
2013(13/Sept)	1337.67	8.3	306.3
2013(22/Sept)	1707.48	10.62	308.62

De igual manera el resultado obtenido deja la información necesaria, para análisis climatológico el cual se pudiera presentar en la zona de estudio.

la colonia centro, Puerto Palchan y la colonia Carlos R. S. estando situadas en un nivel de 308.6 MSNM.

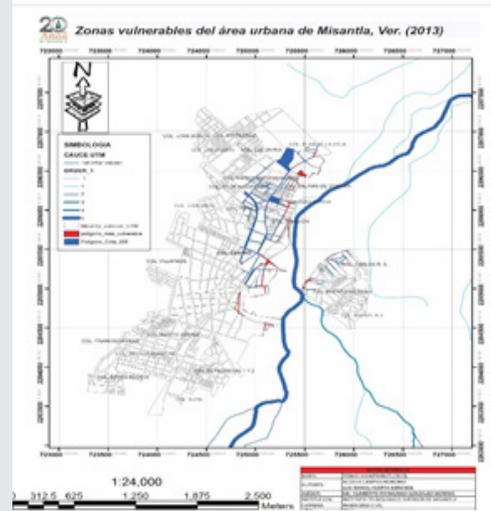


Figura 10. Mapa de zonas vulnerables del área urbana de Misantla, Veracruz, México, proyección a Precipitación 500 mm.

Una vez conocidas los establecimientos posiblemente afectados en caso de que ocurriera una inundación de esa magnitud, los propietarios pueden contratar un tipo de seguro el cual asegure sus casas en caso de ser afectadas ante las inundaciones posibles, de igual forma podrían solicitar a las autoridades competentes ser reubicadas debido a que la zona es vulnerable.

Las escuelas como son de un sector público pueden ser utilizadas como centros de albergues y auxiliar a la población cuando se pronosticará una inundación o sucediera dicho evento en el municipio de Misantla, asimismo solo debería verse con las autoridades del municipio la manera en cómo se abastecerían los víveres a los centros de albergues para los damnificados resultantes de un fenómeno natural, en este caso las inundaciones.

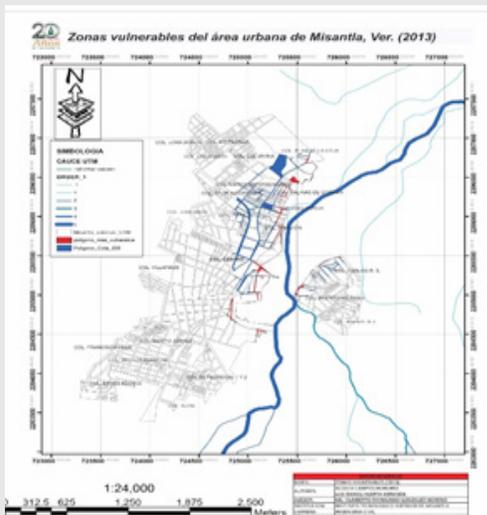


Figura 9. Mapa de zonas vulnerables del área urbana de Misantla, Veracruz, México 2013.

En este mapa se observan las colonias situadas en una zona vulnerable ante una avenida máxima generada por una precipitación de 275 mm de lluvia ocurrida en el año 2013, dichas colonias son las siguientes: Plan de la Vieja, Salinas de Gortari, Marco Antonio Muñoz, 20 de noviembre, Emiliano Zapata, Peñafiel, Aviación,

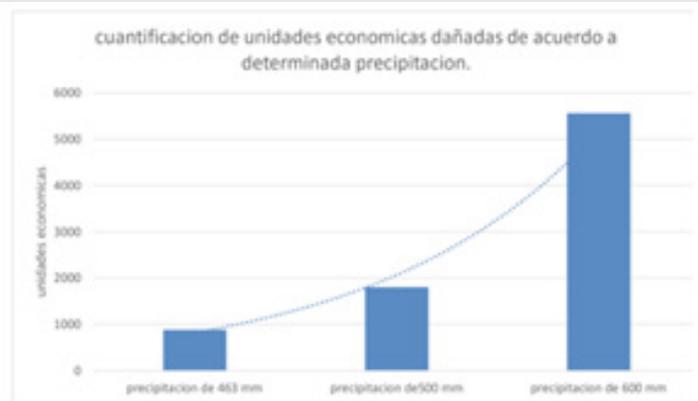


Figura 11. Tabla del sistema web BI, que muestra el resultado de la consulta.

CONCLUSIONES

Al obtener los polígonos de afectaciones en la ciudad de Misantla con respecto a futuras inundaciones, ob-

tenido por medio de un método matemático, se concluye después de analizado el proceso y las variables obtenidas que, dichos polígonos representan solo la zona "vulnerable" esto quiere decir que este polígono no representa la zona de riesgo real, es solo un área probable, pero es de gran utilidad en la toma de medidas precautorias.

De igual manera se concluye que esta metodología puede ser utilizada en cualquier otra cuenca, solo se debe analizar las condiciones de la nueva zona de estudio, tales como la existencia o no de datos climatológicos entre otras.

Al seguir los pasos aquí descritos de la metodología utilizada, fue posible comprobar la hipótesis que se planteó, debido a que la simulación se llevó a cabo exitosamente obteniendo resultados satisfactorios mostrando claramente cuáles son las zonas vulnerables ante una inundación generada por precipitaciones de diferentes índoles.

La exitosa conclusión del presente trabajo aportó a la sociedad en general, herramientas útiles para la creación de medidas preventivas antes desastres naturales tales como avenidas máximas (inundaciones), dichas herramientas serán utilizadas mayormente por dependencias municipales tales como protección civil.

La realización de este proyecto permitió un enriquecimiento en los conocimientos de SIG (sistema de información geográfica), además mostró la gran variedad de aplicaciones que un SIG puede tener dentro de la ingeniería. Además de generar la inserción de esta ciencia dentro de las afectaciones posible en una sociedad que demanda mejor calidad de vida, contribuye como un tema para el debate no solo de dependencias gubernamentales e investigadores apegados con esta ciencia, sino también del alumnao y la sociedad en general.

Con el análisis de los AGEB se logra visualizar el comportamiento de las áreas geoesestadísticas básicas de la ciudad de Misantla las cuales se encuentran aledañas al río Misantla, es por ello que estas áreas son visiblemente vulnerables ante la presencia de una inundación, para lo cual se recomienda que los habitantes de estos AGEB deberían encontrarse siempre alertas ya que debido a que es un fenómeno natural no se puede pronosticar con exactitud cuándo podría suceder, es por ello que debemos estar precavidos ante cualquier aviso de nuestras autoridades correspondientes a este tipo de eventos.

Conocer con exactitud las zonas de vulnerabilidad de esta ciudad es de gran importancia debido a que a través de ello nos servirá para la toma de decisiones sobre las construcciones futuras si así lo decidiéramos,

de construir en zona vulnerable a inundación y así podamos tonar algunos otros aspectos en consideración para que en un futuro nuestras construcciones no se vean afectadas por las inundaciones.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento especial a los Ingenieros Honorio Campos Acosta, Luis Daniel Huerta e Ignacio García Arguelles por su aporte en la realización investigación de campo y desarrollo de mapas primarios.

BIBLIOGRAFÍA

[[1] Díaz B. K. L. & Mamani C. N. R. (2020). *Diagnóstico situacional del abastecimiento del agua superficial del centro poblado de San Miguel de Viso - Huarochirí. Universidad Peruana Unión. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental Diagnóstico. Pp. 7-9.*

[2] Vergara D. A. I. (2019). *El agua."¿Cuál es la estructura, composición, función del agua, y cuál sería la utilidad que le daría el futuro profesional de la bacteriología?" FT-IV-015 Versión 2. Pp. 6-12.*

[3] L. O.-L. Jacobo Santander-Monsalvo, MARIANA VILLADA-CANELA, María de Lourdes Bello-Sánchez, "Situación jurídica para el manejo de los ecosistemas arrecifales de México," *Gob. y Manejo las Costas y Mares ante la Incert. Una Guía para Tomadores Decis., 2020, doi: 10.26359/epomex.0120.*

[4] García Naranjo & Celene Milanés Batista. (2019). *Nueva Metodología con enfoque de MIZC para la Gestión Integrada del Riesgo de Desastre por Inundaciones. Pp. 193 -201.*

[5] Ibáñez Reguera R. E. (2016). *Análisis de la vulnerabilidad de inundación en la ciudad de Misantla, Veracruz. Facultad de Ingeniería. Región Veracruz. Proyecto de Intervención Profesional. Pp. 13-23*

[6] Santos Preciado Jose Miguel. (2020). *Sistemas de Información Geográfica. Universidad Nacional de Madrid. ISBN 978- 84-362-7616-9 Pp. 221-260.*

[7] Buzai G. & Baxendale C. (2010). *Análisis espacial con sistemas de información geográfica. Aportes de la geografía para la elaboración del diagnóstico en el ordenamiento territorial. Actas I Congreso Internacional sobre Ordenamiento Territorial y Tecnologías de la Información Geográfica. Obras Colectivas 24. Universidad de Alcalá de Henares, Alcalá. (Versión CD). ISBN 978-84-8138-920-3 Pp. 7-19.*

[8] Zamora Hernandez, A., Rustrian Portilla, E., Sanchez Reyes, B. P. & Gonzalez Lopez, G. I. (2017). *Tecnología SIG para el monitoreo de la calidad del agua en Veracruz. Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias Diciembre, 2017 Vol.4 No.13. Pp. 36-45.*

[9] Carrillo A. & Cadena V. (2019). *Terciarización y configuración espacial en México. Acta Universitaria Multidisciplinary Scientific Journal, ISSN online 2007-9621. Pp. 2-4.*

[10] Uribe Alcantara. E.M., Escamilla Casas, J. C. & Cruz Chavez E. (2018). *Evaluation of the official Mexican Digital Elevation Model (Mexican Elevation Continuum, CEM 3.0) from INEGI. Tecnología y Ciencias del Agua, 9(5), Pp.153-172, DOI:10.24850/j-tyca-2018-06-07*

[11] Rodríguez Hernández, L.D., Valdés Rodríguez, O.A., Ellis, E.A, Armenta Montero & S. (2020). *Analysis of vulnerability of the Río Misantla basin to extreme hydrometeorological phenomena. Revista Bio Ciencias 7, e900. Pp.1-7. DOI: <https://doi.org/10.15741/revbio.07.e900>*



Ciencias
de la
Computación

Ingeniantes

Sistema informático para el seguimiento y control del mantenimiento de infraestructura y equipo



Colaboración

Rogelio Ramírez Silva; Francisco Javier Gutiérrez Mata; Alma Delia de Jesús Islao; Eloy Cadena Mendoza, Tecnológico Nacional de México / IT de Acapulco

Fecha de recepción: 15 de junio de 2020

Fecha de aceptación: 28 de abril del 2021

RESUMEN: El objeto del presente artículo es desarrollar la herramienta informática SISCMIE, la cual es un sistema informático web destinado al control y seguimiento del mantenimiento de infraestructura y equipo en el Instituto Tecnológico de San Marcos (ITSM), para su construcción se hizo uso del marco de trabajo Scrum, así como el uso de una metodología propia del desarrollo de software llamada OOHDM la cual dicta los tipos de diagramas utilizados para el diseño y desarrollo del software. La implementación de este sistema permitirá centralizar la información, así también, un mayor control de la información al que actualmente tienen al realizar dicho proceso en documentos Word y hojas de Excel.

Se hace mención a que este artículo forma parte de una serie de trabajos siendo el cuarto y último de estos, el cual da seguimiento a un artículo previo titulado: Implementación del backend de una aplicación web para el mantenimiento de infraestructura y equipo en el ITSM, escrito por los mismos autores y que fue aceptado en el séptimo congreso internacional de robótica y computación del Instituto Tecnológico de La Paz.

PALABRAS CLAVE: Front-End, NodeJs, Metodología Scrum, Back-End, Angular.

ABSTRACT: The purpose of this article is to develop the SISCMIE computer tool, which is a web computer system designed to control and monitor the maintenance of infrastructure and equipment at the Technological Institute of San Marcos (ITSM), for its construction the framework of Scrum work, as well as the use of a methodology of software development called OOHDM which dictates the types of diagrams used for the design and development of the software. The implementation of this system will allow to centralize the information, as well as a greater control of the information than they currently have when carrying out this process in Word documents and Excel sheets.

It is mentioned that this article is part of a series of works being the fourth and last of these, which follows a previous article entitled: Implementation of the backend of a web application for the maintenance of infrastructure and equipment in the ITSM, written by the same authors and which was accepted at the seventh international robotics and computing congress of the Instituto Tecnológico de La Paz.

KEYWORDS: Front-end, NodeJs, Scrum Methodology, Back-End, Angular.

INTRODUCCIÓN

En el Instituto Tecnológico de San Marcos (ITSM) existen dos departamentos los cuales son Centro de Cómputo y Recursos Materiales y Servicios, dichos departamentos se encargan de dar mantenimiento y soporte técnico a los equipos de aire acondicionado, equipos de cómputo, impresoras, redes eléctricas, instalaciones de equipos multimedia, también se encargan de hacer trabajos de herrería, carpintería, plomería, manteni-

miento de aulas y muchos otros trabajos que son necesarios realizar para que las áreas del tecnológico lleven a cabo sus actividades de una manera eficiente.

En el ITSM existe un procedimiento que se lleva a cabo cuando se solicita el mantenimiento de una infraestructura o equipo en la institución, dicho procedimiento consta de una serie de pasos que llevan a cabo los jefes de departamento que brindan el servicio. Dependiendo de la actividad a realizar son los pasos que se realizan, las actividades que dicta dicho procedimiento son, la verificación de infraestructura y equipo la cual consta de revisar las anomalías (daños) de todos los edificios (infraestructuras) y equipos de cómputo, equipos eléctricos, aires acondicionados y demás equipos con los que cuenta la institución y que requieran mantenimiento. Otra de las tareas que se realizan una vez que se hizo la verificación, es programar (plan de trabajo) los días en que se resolverá la anomalía encontrada si la hubiera y asignársela a un trabajador para que realice dicho trabajo en la fecha y departamento programado.

Otra actividad que dicta el procedimiento es la atención de solicitudes de mantenimiento correctivo, para la cual son los mismos pasos que se realizan para una verificación, los cuales son, reportar la anomalía al departamento correspondiente y el departamento que atenderá la anomalía programará la fecha y asignará el trabajo a la persona que resolverá el problema reportado. Es importante mencionar que el ITSM es una institución que consta tan solo de dos edificios y, que por tal motivo solo realizan la verificación de infraestructuras y realización de plan de trabajo.

OBJETIVO GENERAL

El objetivo principal es desarrollar un sistema informático web para control y seguimiento del mantenimiento de infraestructuras y equipos en el Instituto Tecnológico de San Marcos, haciendo uso del marco de trabajo Scrum, utilizando herramientas tecnológicas como NodeJS y Angular.

MATERIAL Y MÉTODOS

En esta sección se describe la arquitectura del sistema del cual trata este artículo, las herramientas utilizadas en el desarrollo, así como la metodología de desarrollo del proyecto.

Se decidió utilizar para el desarrollo del sistema el marco de trabajo Scrum para marcar las pautas de las entregas de los módulos del sistema con el cliente, debido a que las metodologías tradicionales no pueden entregar un producto en el marco del tiempo dado [1], así también, se hace uso de una metodología propia para el desarrollo del software, la cual ayuda a dicta los modelos y diagramas que se deben de diseñar para el desarrollo del producto software, dicha metodología es OOHDM (Object Oriented Hypermedia Design Methodology), esta metodología se utiliza debido a que

es orientada a objetos y porque el desarrollador del software la conoce y la ha utilizado en otros proyectos similares, también por ser una de las más utilizadas ya que permite desarrollar aplicaciones web a partir de la utilización de modelos especializados como: conceptual, navegacional e interfaz de usuario teniendo como objetivo simplificar y hacer más eficaz el diseño de aplicaciones [2].

En la figura 1 se puede apreciar el flujo de estas etapas de la metodología implementada.

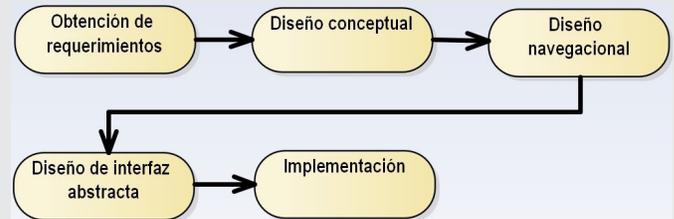


Figura 1. Elementos de un Panel Fotovoltaico.

En la etapa inicial se definen los requerimientos funcionales. Los cuales nos indican las restricciones y las metas del sistema y se obtienen mediante la consulta a los usuarios que harán uso del sistema. Una vez obtenidos se definen a detalle y cada uno servirá como una especificación del sistema. A continuación, se listarán los requerimientos funcionales más relevantes.

Requerimientos funcionales

Autenticación de usuario.

Registrar usuarios.

Gestionar verificaciones de infraestructura y equipo.

Gestionar el mantenimiento de infraestructura y equipo.

Generar reportes de las verificaciones y mantenimientos de las infraestructuras.

El diagrama de la figura 2 muestra los componentes que conforman cada una de las capas de la arquitectura del sistema y la manera en que interactúan. En la capa de acceso a datos se puede observar el componente base de datos la cual se utiliza mongodb y la cual fue expuesto su implementación en un artículo anterior [3].

A continuación, se describe brevemente el flujo que sigue una petición de información realizada por un usuario, ya sea para insertar información o consultarla. El usuario realiza una petición internamente al controlador a través de una petición http al controlador el cual contiene la lógica de negocio, este crea un objeto del modelo haciendo uso de alguna de las clases (verificación, usuario, plan, solicitud) que se encuentran internamente en el componente modelo, permitiendo crear una capa abstracta de las colecciones que almacenan los datos en la base de datos y que se almacenan temporalmente en memoria al tiempo de mostrarlos en el

componente vistas (formularios y tablas) que muestran la información al usuario final. El controlador es un componente que permite insertar información en la base de datos, así también, la base de datos devuelve la información al controlador, el cual lo retorna dicha información a las vistas para que el usuario pueda ver dicha información. En la figura 2 se puede ver una división de componentes, esto se debe a que las tecnologías que se ejecutan del lado del servidor (backend) se desarrollaron haciendo uso de un api-rest, tal como se planteó en un artículo anterior (citar), esto con la finalidad de que en futuros trabajos se pueda desarrollar una aplicación móvil y, dicha api se pueda consumir de una manera fácil.

el propósito de haber usado cada tecnología tanto del backend, como del frontend en la implementación de los componentes para el desarrollo del sistema.

El equipo de cómputo donde se desarrolló la aplicación tiene las siguientes características:

Laptop marca Dell

Procesador i5

Memoria Ram de 6 Gigas

Sistema operativo Windows 10.

Las herramientas para el desarrollo del sistema propuesto son las siguientes:

Visual Studio Code 2019.

Robo 3T.

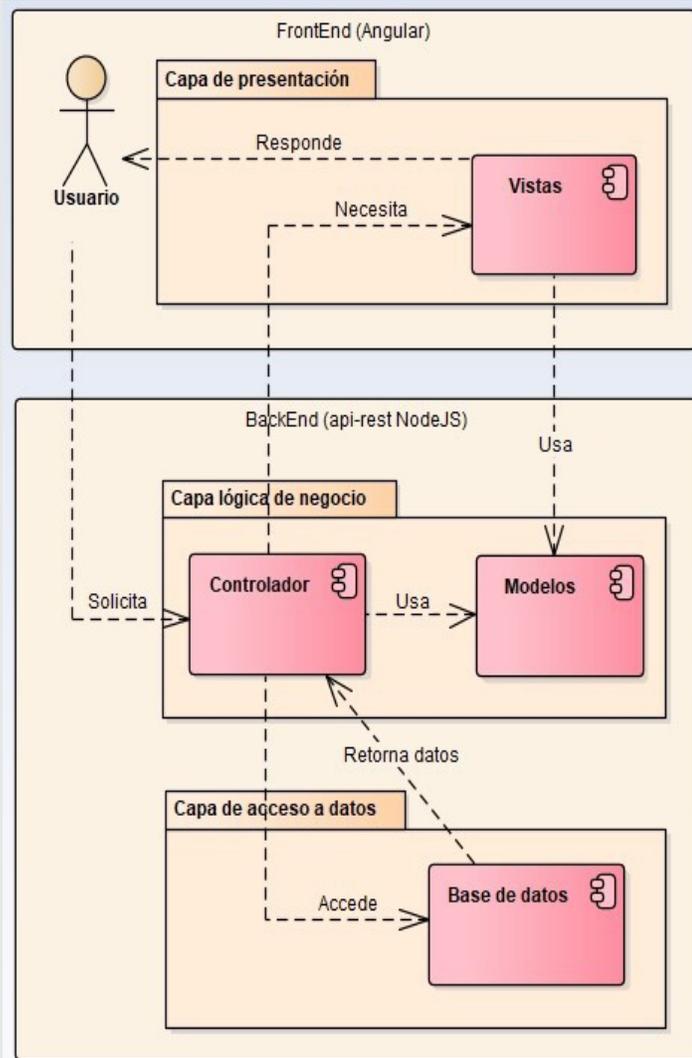


Figura 2 Arquitectura del sistema implementando el patrón arquitectónico MVC.

Para el desarrollo del sistema propuesto, como se puede observar se dividió en dos intereses backend el cual como ya se mencionó existe un artículo en el cual se describe el desarrollo de este, el segundo interés es el frontend, para el cual se hicieron uso de tecnologías de las cuales describiremos, en el ANEXO 1 se describe

RESULTADOS

Con base en el diseño del sistema presentado en el primer artículo [4], donde se mostraron los diagramas de casos de uso, y en el segundo artículo, el diagrama de clases haciendo uso del UML, estos diagramas dan soporte al desarrollo del sistema. En esta sección se presentan los resultados del uso las tecnologías explicadas anteriormente.

En la figura 3 se presenta la instancia (solución) creada en el IDE Visual Code, que contiene el sistema (mean-siscmie-api).

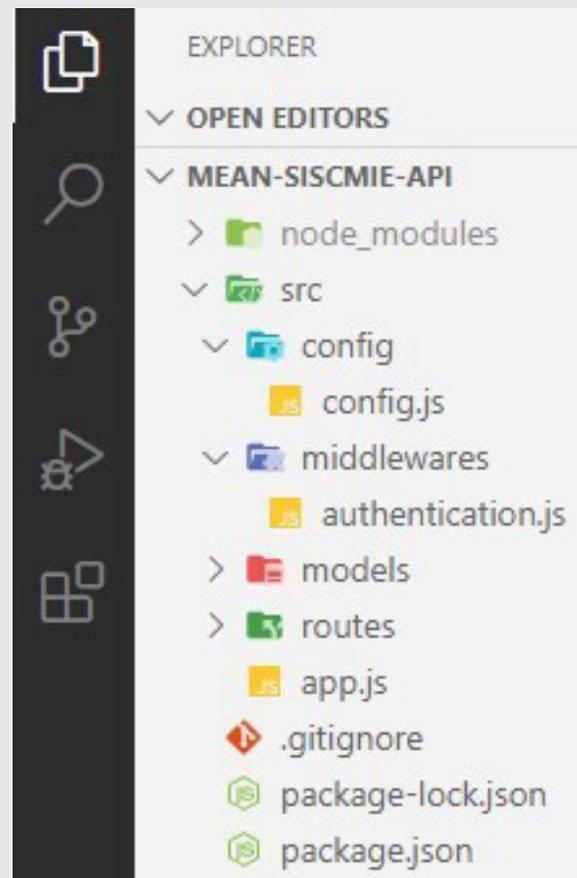


Figura 3 Instancia del sistema en Visual Studio Code.

En la figura 3 se puede observar un proyecto llamado MEAN-SISCMIE-API, el cual es el API REST que proporciona servicios al proyecto cliente programado en angular que muestra los datos al cliente y del cual se hablará más adelante en esta sección. Como se puede observar en la figura 3, existe un conjunto de carpetas las cuales conforman el proyecto del lado del backend, la carpeta node_modules contiene todas las librerías descargadas del gestor de paquetes NPM, la carpeta config (archivo config.js) contiene las configuraciones de conexión al servidor de base de datos, así como puerto al que se debe conectar y una semilla de encriptación de contraseñas de usuario. La carpeta middlewares (archivo authentication.js) contiene un método que ayuda a verificar las credenciales de los usuarios del sistema antes de iniciar sesión en el sistema y consumir información de la base de datos, la carpeta models contiene las clases que se utilizan para mapear la información de la base de datos, las cuales son similares a los nombres que tiene en la base de datos las colecciones, como se observa en la figura 4 (plans, services, users, requests, providers, groups, depts, articles). La carpeta routes contiene un conjunto de archivos que son los controladores que acceden y responden a las peticiones de los usuarios una vez que iniciaron sesión correctamente en el sistema. El archivo app.js contiene la configuración de las rutas y accesos a la base de datos e iniciador del servidor una vez que se despliega la aplicación en producción.

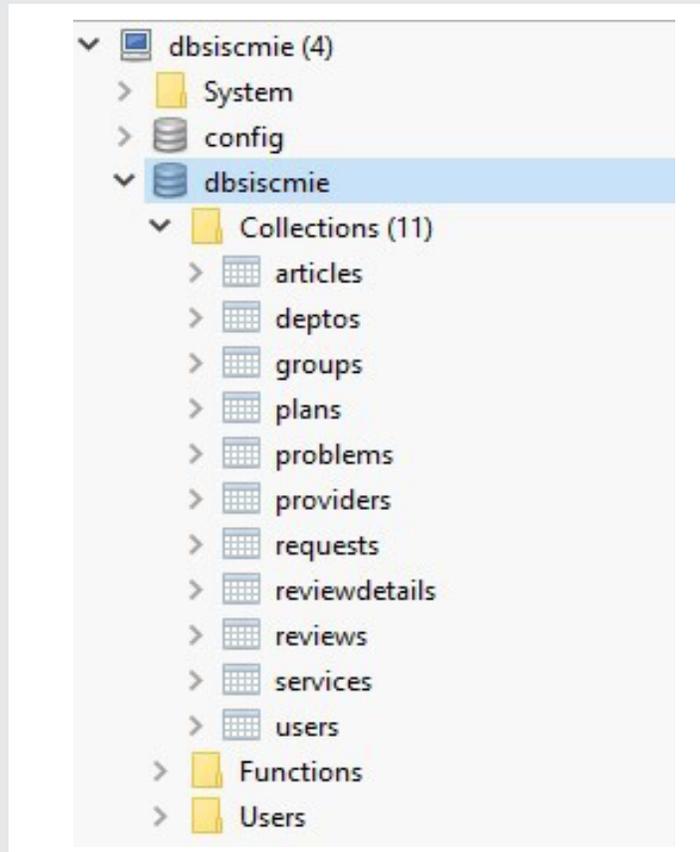


Figura 4 Base de datos del sistema propuesto en Robo 3T.

En la figura 4, se ilustra Robo 3T, el cual nos permite administrar la base de datos que se crea una vez que se ejecuta la aplicación en el servidor. Como se puede observar en la figura 4, la base de datos llamada dbisicmie contiene las colecciones generadas a través de los modelos creados en el proyecto MEAN-SISCMIE-API, la librería que hace posible la migración es moongoose, la cual fue mencionada en la sección anterior, esta librería aparte de que ayuda a mapear, también permite una gran cantidad de funcionalidades, es decir, permite convertir mayúsculas a minúsculas en las validaciones, así como una configuración rápida en el ODM [5].

Es importante mencionar que la estructura de carpetas del proyecto MEAN-SISCMIE-API, la hace el programador del proyecto, ya que el framework NodeJS no te exige una estructura en específico [6].

Como se observa en la figura 2 el proyecto se dividió en dos intereses backend que se desarrolló en NodeJS y frontend que se programó en Angular. Es por eso que la solución final consta de dos proyectos, como se observa en la figura 5, se muestra la solución de Angular.

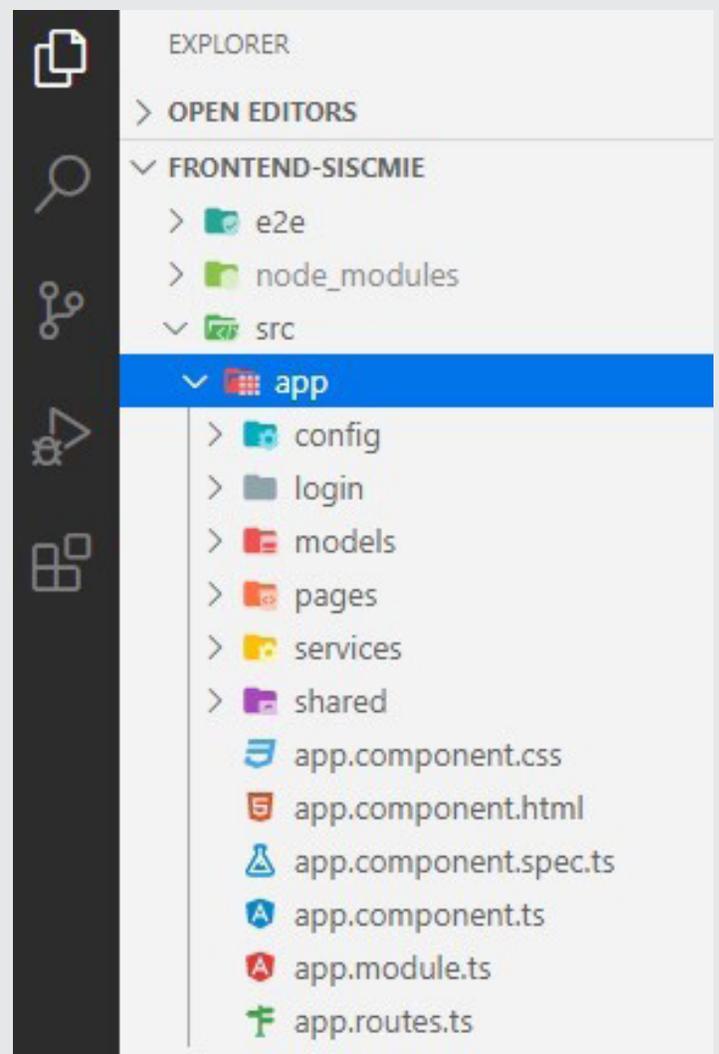


Figura 5 Proyecto frontend en Angular.

En la figura 5 se puede observar que el proyecto cliente está conformado por un conjunto de carpetas, es importante mencionar que esta solución es con la que el usuario final interactuará directamente. A continuación, se describirán las carpetas más relevantes del proyecto. La carpeta config contiene la ruta del api de la cual consumirá los datos a mostrar en las vistas, la carpeta models contiene todas las clases que representan la información que se carga en tiempo de ejecución y que es extraída de la base de datos en formato JSON, el cual es una forma de intercambiar datos entre el backend y frontend [7] de una manera fácil que no necesita de algún programa que interprete la información que llega desde la base de datos a las vistas que se le muestran al usuario final de la aplicación. Los archivos que hacen posible obtener la información de la base de datos son los servicios que se encuentran en la carpeta services, las vistas que hacen posible la interacción con el usuario se encuentran en la carpeta pages, es importante mencionar que Angular es un framework orientado a componentes los cuales pueden ser reutilizables, esto permite que se puedan reutilizar páginas en otros módulos del sistema, dichas vistas (páginas HTML) compartidas se encuentran en la carpeta shared, la carpeta login contiene la página de inicio de sesión, la cual es la primera con la que interactúa el usuario que desea hacer uso del sistema.

Como resultado del desarrollo de la aplicación web se tiene las siguientes vistas del sistema.

En la figura 6 se puede observar la página principal para la administración de los planes de mantenimiento, así como la opción para la gestión de usuarios, configuraciones, catálogo del sistema donde se almacenan los departamentos a los cuales se les hacen verificaciones y mantenimientos. La opción llamada principal permite mostrar indicadores de la cantidad de mantenimientos registrados en la plataforma, así como, cuantos están en proceso, cerrados o cancelados.

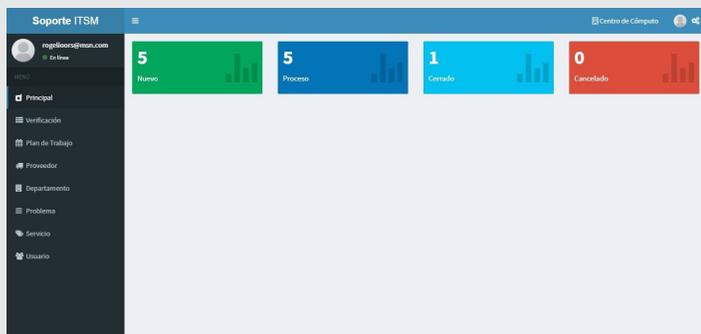


Figura 6 Menú principal del sistema.

En la figura 7, se observa una tabla con la información de las verificaciones registradas en el departamento de Centro de Cómputo, en cada una de las listas de verificación registradas se pueden ejecutar operaciones como editar, registrar fallos e imprimir la lista con

los fallos registrados, no se implementa la opción de imprimir debido a que, por requerimiento de los usuarios finales, la información no debe de ser borrada una vez que se registra en la base de datos.

Figura 7 Vista que permite visualizar las listas de verificación de infraestructura y equipo registradas.

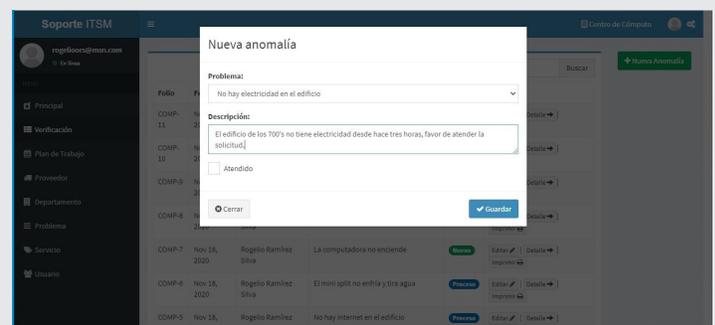


Figura 7 Vista que permite visualizar las listas de verificación de infraestructura y equipo registradas.

En la figura 8 se muestra el formulario que permite registrar una anomalía en una lista de verificación de infraestructura y equipo.

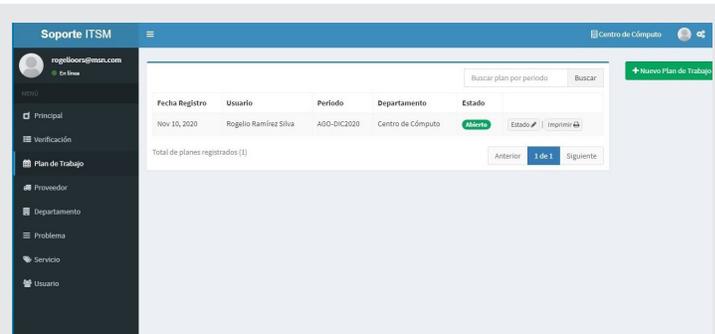


Figura 8 Vista del formulario para el registro de una anomalía en una lista de verificación.

En la figura 9, se muestra el panel en el cual se listan los mantenimientos a realizar por un departamento, dicho panel muestra las opciones de estado e imprimir, esta última opción se utiliza para descargar un documento con formato pdf que contiene todas las anomalías que se programan para realizarse en la fecha indicada por el usuario encargado de dicha actividad.

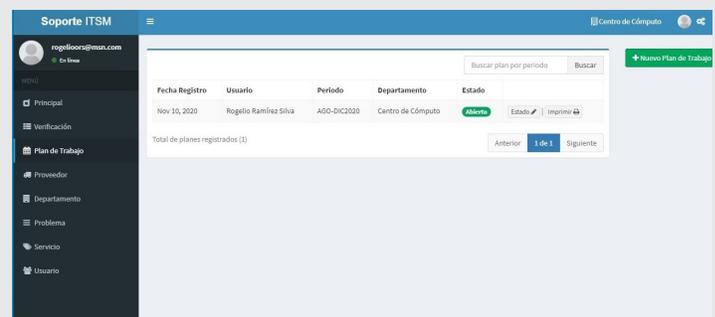


Figura 8 Vista del formulario para el registro de una anomalía en una lista de verificación.

En la figura 10, se observa el formulario que se muestra después de presionar el botón que dice Nuevo plan de trabajo de la figura 9.

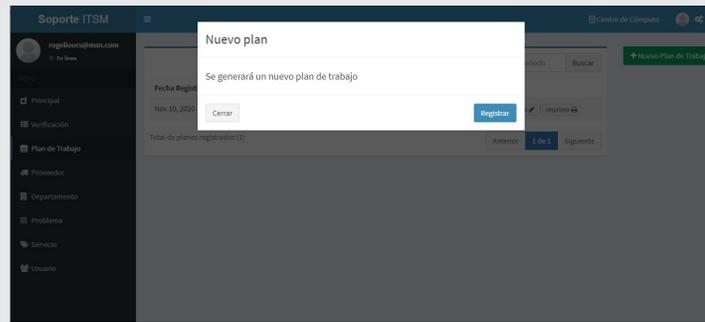


Figura 10 Vista de la creación de un plan de trabajo.

En base al procedimiento que se lleva a cabo en el Instituto Tecnológico de San Marcos, el primer paso del procedimiento es crear una lista de verificación (ver figura 7), el segundo paso es agregarle fallos de equipos o daños de infraestructuras en las listas (ver figura 8), el tercer paso dicta que una vez encontrados todos los fallos de un departamento en el equipo que contiene o infraestructura del mismo edificio se debe de hacer un plan de trabajo para programar en que fechas se deben de resolver dichas anomalías (ver figura 8 y 10), una vez que es creado el plan de trabajo se comienza a programar las actividades seleccionando cada una de ellas, de la lista de verificación para asignarlas al plan deseado como se muestra en la figura 11.

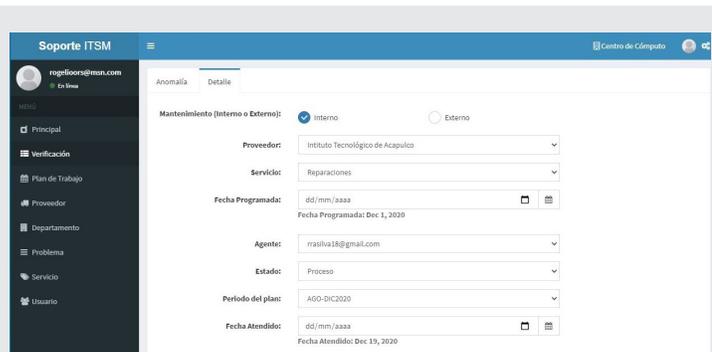


Figura 11 Vista para la programación de un fallo.

Como se observa en la figura 11, una vez que es creado el plan de trabajo aparecerá en el campo periodo del plan de la figura anterior el periodo del plan al cual será asignado el fallo.

El cuarto paso que dicta el procedimiento para el mantenimiento de infraestructura de equipo es que cuando se llegue la fecha de resolver el fallo programado en el plan de trabajo se debe generar una orden de trabajo como la que se muestra en la figura 12.

La orden de trabajo que se genera mostrada en la figura 12, debe ser firmada por el jefe del área donde se

reportó el fallo y también por el jefe del departamento que repara el fallo.



Figura 12 Vista del formato pdf de la orden de trabajo.

CONCLUSIONES

Como producto de esta investigación se logró desarrollar una plataforma web, la cual cumple con el objetivo principal, que es la implementación de una herramienta informática que permita centralizar, controlar y dar seguimiento a toda la información generada en el proceso del mantenimiento de la infraestructura y el equipo con el que cuenta el Instituto Tecnológico de San Marcos, Guerrero.

El uso de este sistema no garantiza que todas las actividades que se llevan a cabo actualmente en los departamentos que utilicen este sistema dejarán de usar papel al cien por ciento, debido a que actualmente en el estado de Guerrero existen organizaciones e instituciones que se resisten al uso de las tecnologías, así como a la automatización de ciertos procesos.

Los trabajos a futuro del proyecto, son la implementación de nuevos módulos a la plataforma, como notificaciones en tiempo real de los fallos de un equipo, un ejemplo claro puede ser, recibir información de los aires acondicionados haciendo uso de sensores de temperatura, que utilizando el internet de las cosas se puedan mandar mensajes a la plataforma en tiempo real cuando un aire no está enfriando o cuando se apague repentinamente.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Z. Ereiz, «Scrum Without a Scrum Master,» 9 IEEE International Conference on Computer Science and Educational Informatization (CSEI), pp. 325-328, 2019.

[2] Jimmy R. Molina, Mariuxi P. Zea, «Comparación de metodologías en aplicaciones web,» *3Ciencias*, pp. 1-19, 2018.

[3] F. J. G. M. A. D. D. J. I. E. C. M. Rogelio Ramírez Silva, «Implementación del backend de una aplicación web para el mantenimiento de infraestructura y equipo en el ITSM,» *Robotica y Computación. Nuevos Avances*, pp. 286-290, 2020.

[4] F. J. G. M. E. d. I. C. G. E. C. M. Rogelio Ramírez Silva, «Propuesta de diseño de un sistema de información web para el seguimiento y control del mantenimiento de infraestructura y equipo.,» *Academia Journals*, pp. 940-946, 2019.

[5] S. Holmes, *Mongoose for Application Development*, Packt, 2013.

[6] J. Munro, «envatotuts,» 09 Octubre 2017. [En línea]. Available: <https://code.tutsplus.com/articles/an-introduction-to-mongoose-for-mongodb-and-nodejs--cms-29527>.

[7] Alejandro Corbellini, Cristian Mateos, «Persisting big-data: The NoSQL landscape,» *ScienceDirect. Information Systems*, pp. 1-23, 2017.

[8] «Compliance monitoring in business processes: Functionalities, application, and tool-support,» *ELSEVIER. Information Systems*, n.º 54, pp. 209-234, 2015.

[9] A. Sterling, «NodeJS and Angular Tools for JSON-LD,» *IEEE Xplore 13th International Conference on Semantic Computing*, pp. 392-394, 2019.

ANEXO 1 Descripción de uso de cada tecnología para el desarrollo del sistema.

Back-End	
Tecnología	Uso
NodeJS	Proporciona un marco de trabajo para desarrollar una aplicación web basado en el patrón API-REST .
JavaScript	El lenguaje de programación JavaScript que permite la creación de la lógica de negocio en los controladores y de los modelos .
Express	Esta tecnología facilitó la creación de un servidor para recibir peticiones de los clientes (navegadores web) del lado de la tecnología Angular. Es una librería de uso libre que fue descargada del gestor de paquetes NPM .
Mongoose	La librería mongoose permitió crear una conexión en el servidor Express a la base de datos NoSQL MongoDB para insertar y consultar información. Así como mapear los modelos creados y crear a partir de esos modelos las clases de la aplicación.
Mongo-Validator	Esta librería facilita la creación de validaciones del API-REST , es decir, utilizando el lenguaje JavaScript se validan los datos que son insertados.
MongoDB	Para persistir la información se hizo uso del gestor de base de datos NoSQL MongoDB .

Front-End	
Tecnología	Uso
HTML	Como tecnología principal del lado del cliente se hizo uso de HTML la cual proporciona una estructura web general para cada vista del sistema.
CSS	El uso de CSS es indispensable en el desarrollo de aplicaciones web, debido a que se usa con la finalidad de hacer que el sistema adquiera un aspecto agradable al usuario. Debido a que CSS permite manipular el aspecto estructural de las imágenes en cuanto a color, orden, tamaño, así como también el de los elementos HTML que se utilizaron.
JavaScript	Aunque indirectamente, también se utilizó para la manipulación del contenido en el Front-End realizando validaciones.
TypeScript	Todo lo que se programa en Angular se transpila a JavaScript, ya que es el lenguaje nativo que entiende Angular .
Angular	Angular es el framework utilizado para desarrollar la aplicación web cliente, es decir, todas las tecnologías mencionadas anteriormente fueron implementadas dentro de estas tecnologías. La cual nos dicta los componentes que se deben programar y las estructuras que se deben desarrollar para desarrollar un software funcional al cien por ciento.
Bootstrap	Para crear vistas con diseño que alguien más ya desarrollo y que están disponibles gratis, se implementó el framework Bootstrap , esto se hizo con la finalidad de no invertir tiempo en algo que ya alguien más se tomó la molestia de diseñar.
AdminLTE2	Es una plantilla diseñada por un tercero que está disponible sin ningún costo y con demasiado soporte y que internamente utiliza Bootstrap , esta plantilla te proporciona los formularios, tablas, labels, inputs, modal-popups con diseños agradables, con colores, bordes, tipado de letras y estilos en general.
ChartJS	Para la graficación de los reportes se utilizó la librería ChartJS .



Ingeniantes

Revista de Investigación . Instituto Tecnológico Superior de Misantla