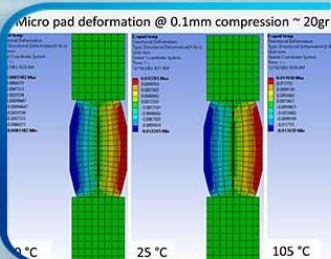


RIIT Científica
Bimestre Noviembre-Diciembre 2023
Vol. 11, No. 65



**Determinación de la relación e impacto de las horas extras
laboradas sobre la salud y rendimiento de los trabajadores
de la construcción**

Pérez-Gómez-Martínez, G.J.F., Ponce-Palafox, C., Mata-Chairez, L.P.,
 Moreno-Juárez, A.N., Cárdenas-Díaz, O.E., Cortés-Martínez, F.,
 Espinoza-Fraire, A.T.



**Developing Micro-Columns of Test Sockets to Enable
Processor Validation Signals**

Encarnación-Robles, U., Pérez-Bustamante, R., Arcos-Gutiérrez, H.



**Análisis de los efectos de la implementación de gestión
de relaciones con el cliente en empresas de serigrafía y
bordado de la ciudad Tijuana, Baja California**

Cruz-Estrada, I., Miranda-Zavala, A.M., Martínez-León, B.C.



**Incidencia ergonómica osteomuscular de origen laboral
en los operadores de confección de las pymes de
Cotacachi**

Vaca-Gómez, D.M., Nolivos-Alvarado, L.J., Jiménez-Rey, J.F.



**Efecto alelopático de extractos de *Jatropha dioica* y
Flourensia cernua en plantas de *Phaseolus vulgaris* como
planta modelo en el control de malezas**

Coronado-Domínguez, R., Arredondo-Valdés, R., Barrera-Martínez, C.,
 Cabello-Anguiano, J., Pérez-Rodríguez, P., Laredo-Alcalá, E.



**Desarrollo de pan de trigo enriquecido con harina de
Pleurotus ostreatus utilizando su extracto enzimático**

Losoya-Sifuentes, C., Tapia-Solís, M., Sígala-Laguna, S.,
 Rodríguez-Jasso R.M., Loredo-Treviño, A., Ruiz, H.A., Cruz, M.,
 Belmares, R.

Cintillo Legal

RIIT REVISTA INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA, Vol. 11, No. 65. Noviembre - Diciembre 2023, es una publicación bimestral editada y publicada por Universidad Autónoma de Coahuila, boulevard Venustiano Carranza s/n colonia República Oriente, C.P. 25280, Saltillo, Coahuila, Tel. (844) 414 85 82, <https://riit.com.mx/>, correo electrónico: publicacionesriit@uadec.edu.mx. Editor responsable: Dra. Antonia Mtz. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2022-021512364600-102, ISSN: 2007-9753, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Departamento de Divulgación y Comunicación Digital de la Dirección de Investigación y Posgrado de la UAdeC, Q.F.B. Fernando García, Edificio "D" planta alta, unidad Camporredondo, Saltillo, Coahuila, C.P. 25280, Tel. (844) 414 85 82, fecha de última modificación: 01 Noviembre 2023.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de Universidad Autónoma de Coahuila.

Tabla de Contenido

Título artículo/ Autores	Páginas
Determinación de la relación e impacto de las horas extras laboradas sobre la salud y rendimiento de los trabajadores de la construcción Pérez-Gómez-Martínez, G.J.F., Ponce-Palafox, C., Mata-Chairez, L.P., Moreno-Juárez, A.N., Cárdenas-Díaz, O.E., Cortés-Martínez, F., Espinoza-Fraire, A.T.	1 - 20
Developing Micro-Columns of Test Sockets to Enable Processor Validation Signals Encarnación-Robles, U., Pérez-Bustamante, R.2 Arcos-Gutiérrez, H.	21 - 32
Análisis de los efectos de la implementación de gestión de relaciones con el cliente en empresas de serigrafía y bordado de la ciudad Tijuana, Baja California Martínez-León, B.C., Cruz-Estrada, I., Miranda-Zavala, A.M.	33 - 54
Incidencia ergonómica osteomuscular de origen laboral en los operadores de confección de las Pymes de Cotacachi Vaca-Gómez, D.M., Nolivos-Alvarado, L.J., Jiménez-Rey, J.F.	55 - 67
Efecto alelopático de extractos de <i>Jatropha dioica</i> y <i>Flourensia cernua</i> en plantas de <i>Phaseolus vulgaris</i> como planta modelo en el control de malezas Coronado-Domínguez, R., Arredondo-Valdés, R., Barrera-Martínez, C., Cabello-Anguiano, J., Pérez-Rodríguez, P., Laredo-Alcalá, E.	68 - 81
Desarrollo de pan de trigo enriquecido con harina de <i>Pleurotus ostreatus</i> utilizando su extracto enzimático Losoya-Sifuentes, C., Tapia-Solís, M., Sígala-Laguna, S., Rodríguez-Jasso R.M., Loredó-Treviño, A., Ruiz, H.A., Cruz, M. Belmares, R.	82 - 96



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

Determinación de la relación e impacto de las horas extras laboradas sobre la salud y rendimiento de los trabajadores de la construcción

Determination of the relationship and impact of overtime on the health and performance of construction workers

Pérez-Gómez-Martínez, G.J.F.^{a*}, Ponce-Palafox, C.^a, Mata-Chairez, L.P.^a, Moreno-Juárez, A.N.^b, Cárdenas-Díaz, O.E.^b, Cortés-Martínez, F.^c, Espinoza-Fraire, A.T.^c

^a Escuela de Arquitectura, Unidad Torreón, Universidad Autónoma de Coahuila; C.P. 27276, Torreón, Coahuila, México.

^b Facultad de Ingeniería, Unidad Torreón, Universidad Autónoma de Coahuila; C.P. 27276, Torreón, Coahuila, México.

^c Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura, Unidad Gómez Palacio, Universidad Juárez del Estado de Durango; C.P. 35070, Gómez Palacio, Durango, México.

gonzalo.perez_gomez@uadec.edu.mx*; cesarponce@uadec.edu.mx; paola.mata@uadec.edu.mx;
nicolas.moreno@uadec.edu.mx; ecardenas@uadec.edu.mx; fcortes@ujed.mx; atespinoza@ujed.mx

Innovación Tecnológica: Análisis estadístico del impacto de las horas extras en la construcción.

Área de aplicación industrial: Mejora de la gestión de procesos en la construcción civil.

Recibido: 16 noviembre 2022

Aceptado: 15 junio 2023

Abstract

The main objective of this study was to determine the impact of overtime worked in construction processes on the health of the workers and their level of performance, for which it was necessary to determine how the extended working day strategy could improve the management of time and work on site. After carrying out the review of the theoretical bases with which it was possible to establish the state of art, which defined both the research background and the theoretical framework, a representative sample of construction professionals was interviewed to establish their perspective. regarding this situation. The results of the application of the questionnaire were analyzed through descriptive statistics, correlation between questions and factor analysis, which gave the opportunity to establish pertinent inferences and conclusions. With the theoretical and statistical information, a decision diagram was designed to guide the construction site if overtime it to be included as a viable strategy that seeks to improve the management of the site. The results

found allowed to define that the extension of the working day, if it is considered prior to the start of the work, should not have a negative impact on the health of the personnel, nor on the work performance, and it is even established that the utility in the building process suffers a marginal loss, and that on the other hand, the decrease in construction times, allows to eliminate the consequences such as the impact of indirect or the possibility of increases or fines for delays, which may have the appearance of unforeseen events in the original of time, for the development of the process. As a main conclusion, it is pointed out that if overtime is carried out, it must be previously considered and never as a last-minute solution. In this sense it will provide positive aspects for both the owner and the builder, but analyzed and accepted in consensus by both, so it should not generate problems for the health or performance of the staff.

Key words: Construction, Occupational health, Overtime, Worker performance.

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo principal el determinar el impacto de las horas extras trabajadas en los procesos constructivos, sobre la salud de los obreros y el nivel de su rendimiento, para lo cual fue necesario determinar cómo la estrategia de la jornada extendida pudiera mejorar la gestión de los tiempos y los trabajos en la obra. Después de llevar a cabo la revisión de las bases teóricas con las cuales se pudo establecer el estado del arte, que definió tanto los antecedentes de investigación, como el marco teórico se entrevistó a una muestra representativa de los profesionales de la construcción para establecer su perspectiva, con respecto a esta situación. Los resultados de la aplicación del cuestionario se analizaron por medio de la estadística descriptiva, la correlación entre preguntas y el análisis factorial, lo que dio la oportunidad de poder establecer inferencias y conclusiones pertinentes. Con la información teórica y la estadística se diseñó un diagrama de decisión, para orientar en la obra si es que se desea incluir las horas extras como una estrategia viable, que procure el mejoramiento en la gestión de esta. Los resultados encontrados permitieron definir que la ampliación de la jornada laboral, si es considerada previo al inicio de la obra, no debe de impactar negativamente sobre la salud del personal, ni sobre el rendimiento laboral, e incluso se establece que la utilidad en el proceso de edificación resiente una pérdida marginal, y que por otro lado, la disminución de los tiempos de la construcción, permiten eliminar las consecuencias como el impacto de los indirectos o la posibilidad de aumentos o multas por los atrasos, que puede tener la aparición de imprevistos en el lapso original, para el desarrollo del proceso. Como conclusión principal se puntualiza que las horas extras si se llevan a cabo, deben de ser previamente consideradas y nunca como una solución de último momento, en tal sentido brindarán aspectos positivos tanto al propietario como al constructor, pero analizadas y aceptadas en consenso por ambos, por lo que no deben generar problemas a la salud ni al rendimiento del personal.

Palabras clave: Construcción, Horas extras, Salud laboral, Rendimiento obrero.

I. Introducción

El sector de la construcción en la actualidad se caracteriza constantemente, por el incumplimiento de los compromisos pactados con los usuarios. Lo anterior se vuelve aún más crítico por el hecho de que la gestión de los procesos constructivos en general atiende a la forma tradicional en la que estos son desarrollados, y que no abona a la certidumbre por parte del constructor, de lograr los objetivos de la obra, tal y como fueron planeados previamente.

En condiciones normales de una obra, menciona Eshofonie (2008) [1] que el costo del producto debe ser el resultado de la sumatoria de materiales, mano de obra, equipos, gastos de apoyo y la utilidad, pero resulta frecuente que en el proceso se presenten eventos que impiden cumplir con el cliente al 100%. Al respecto agregan Cho, Hong & Hyun (2010) [2] que, ante la posibilidad de presentarse variaciones en costos y tiempos en la obra, la definición de sus causas en muchas veces no resulta simple, por lo que deben de existir controles estrictos en la gestión de la edificación.

El constructor al llevar a cabo un proceso de construcción se compromete básicamente con su cliente a cumplir los costos y los tiempos que redundan en el aseguramiento de una cota de calidad establecida. Ahora bien los desfases de tiempo también repercuten en incremento de costos y ante esa posibilidad, el constructor probablemente vea como viable solución, el uso de la jornada extendida. Pero tampoco debe ignorarse un hecho real en la construcción, que es en el sentido de que la línea entre las ganancias y las pérdidas en la obra es muy tenue, debido a que existen una gran cantidad de factores que inciden en el nivel de productividad que puede llegar a alcanzar una empresa constructora (Fernely y Rodríguez, 2015) [3].

Ocupar horas extras en los procesos de edificación como medida para evitar incremento de costos debe ser una medida ampliamente estudiada antes de aplicarla. La jornada extendida como estrategia en la construcción debe ser según observa Visser (2017) [4] una excepción, más que una regla, y en caso de ocuparse requiere de una adecuada gestión del personal. Por otro lado, Watanabe & Yamauchi (2016) [5] establecen que el trabajo extra realizado de forma obligada puede generar problemas en la relación familia-trabajo, pero cuando ese tiempo adicional se realiza por parte de los trabajadores de forma voluntario puede incluso generar efectos positivos, en tal sentido agregan Näswall, Burt & Pearce (2015) [6] que el trabajo en horas extras cuando es por decisión de la mano de obra disminuye los efectos desfavorables que esto acarrea, y que derivan del incuestionable mayor desgaste físico y mental.

Establece Globerson (2017) [7] que una de las causas fundamentales para que se incrementen los costos en las obras son precisamente el atraso de estas. Ante la realidad de que muchas obras no se terminan en el lapso pactado, Zaho, Mbachu & Domingo (2017) [8] indican que las fluctuaciones en el comportamiento de los costos presupuestados influye en las decisiones que toman clientes y constructores. En tal sentido, comenta Bhuto (2015) [9] que la empresa debe primeramente asegurar que la jornada normal otorgue el máximo rendimiento del personal.

II. Marco teórico

El estudio busca entender las consecuencias de laborar tiempo extendido en la construcción, sobre la salud del personal y el rendimiento laboral que este pueda alcanzar. Por tal motivo, resulta fundamental investigar cuál es la situación teórica con respecto a estos aspectos.

Horas extras

La ejecución de horas extras debe de ser preaprobadas dentro de la planificación de la obra, ya que de otra manera esos costos se depositan finalmente en los de la construcción según lo manifiesta Evans (2016) [10]. En el trabajo de Watanabe & Yamauchi (2016) [5] se establece la definición del trabajo-no trabajo que debe de entenderse como la satisfacción que logra un empleado al balancear adecuadamente las actividades remuneradas y las de esparcimiento. Haciendo referencia al artículo de Pérez Gómez et al. (2017) [11] donde se puntualiza que el incremento de la productividad de la constructora en general depende directamente del desempeño de la mano de obra.

Comenta Visser (2017) [4] que el tiempo extra se convierte en uno de los mayores gastos de la obra, y más si no se administra correctamente puede derivar en costos demandas y una caída de la moral obrera. Se identifica en el trabajo de Pérez Gómez et al. (2017) [12] que los constructores relacionan muchas de sus pérdidas con los atrasos acaecidos en la obra, y que el recurso paliativo para solucionar este problema es recurrir a tiempo adicional en el proceso, aún con la disminución de la productividad del personal. En la tesis de Vela Moreno (2019) [13] se determina que el uso de horas extras puede ser benéfico para la obra, si son consideradas desde la planeación del proceso, ya que su programación anticipada, minimiza las consecuencias a la salud del personal.

Salud del personal

Se consigna en el artículo de Narayan (2014) [14] que los obreros de la construcción trabajan en jornadas extenuantes, donde es común que no cuenten con medidas de seguridad, y anexo a esto una pobre actitud hacia el uso de equipo de protección, recae en

la incidencia de accidentes. En su estudio confirma González (2015) [15] que la percepción del riesgo como parte de los procesos cognitivos y sociales de las personas, dictan el cómo interactuarán con las situaciones de peligro, y por lo tanto acotan la manera en que desarrollarán sus actividades laborales. En el trabajo de Zahoor et al. (2016) [16] retoman la información de Choudhry et. Al. (2009) que plantea el hecho de que la rentabilidad y la productividad de la constructora es altamente afectada por la presencia de siniestralidades y los daños asociados a estas.

En el estudio de Carpio de los Pinos et al. (2017) [17] se menciona que la industria de la construcción presenta una alta siniestralidad, que se presenta por razones tales como la temporalidad de la mano de obra, la alta subcontratación, la baja capacitación y escolaridad de los obreros y muy especialmente la falta de una cultura de prevención. Del trabajo de Karimi, Taylor & Goodrum (2017) [18] se establece que las cuatro medidas del desempeño en la construcción son los costos, el programa, la calidad y la seguridad del personal. De la investigación de Villarreal et al. (2017) [19] se desprende el pensamiento de que, de los peligros ambientales de la construcción, derivan muchas enfermedades crónicas de los trabajadores, que pueden verse exacerbadas además por el estilo de vida de estos.

Rendimiento laboral

Se establece en el estudio de Karimi, Taylor & Goodrum (2017) [18] que el análisis de las horas extras en la construcción tiene un doble beneficio, primero detectar las causas del incumplimiento del programa por la falta de un mejor rendimiento laboral, y segundo el mejor aprovechamiento de la fuerza laboral disponible, para el cumplimiento de los compromisos de la obra. En el artículo escrito por Dixit et al. (2017) [20] indican que la

culminación exitosa de un proceso de edificación descansa básicamente en el rendimiento del personal, de ahí la necesidad imperiosa de mejorar las habilidades de los obreros. El sector de la construcción no ha podido solucionar el raquítico incremento de la productividad, y mucho de esto se debe a que no se ha investigado lo suficiente sobre la optimización de las relaciones interpersonales en el trabajo Long & Arroyo (2018) [21].

Al parecer de Prince Ríos (2018) [22] para que el rendimiento del personal resulte eficiente se deben de coordinar adecuadamente todos los niveles de la empresa, para lograr una organización que coadyuve al cumplimiento de los compromisos hacia el usuario. En la exposición de Vrijhoef, Dijkstra & Koutamanis (2018) [23] indican que la mejora de la productividad implica beneficios tangibles al constructor, y muchas de las situaciones ligadas a la baja productividad laboral, están ligadas a errores en la planificación del sitio y de los tiempos de la obra. Confirma Ramírez Franco (2018) [24] que el desempeño laboral de los obreros expresa su dominio sobre las competencias

laborales necesarias para incrementar la productividad personal y de la empresa.

III. Métodos experimentales y resultados

La parte práctica de la investigación inicio con la aplicación de un cuestionario de tipo cuantitativo a los profesionales de la construcción, el cual constó de diez preguntas principales, y que abarcaron un total de cien ítems, los que para su ponderación consideraron una escala de 0 a 10, en relación a su importancia, con el cual se buscó conocer la percepción de los cuestionados, con respecto a la problemática planteada. El cuestionario fue diseñado expofeso para la investigación, dado que no se encontró otro instrumento que englobara los criterios que se requerían, para este trabajo. Después de la elaboración de este documento se procedió a llevar a cabo una prueba piloto, la que se aplicó a quince sujetos, para determinar la confiabilidad del documento, por medio del cálculo del Alfa de Cronbach, para lo anterior fue utilizado el programa IBM-SPSS®. Los resultados de este proceso se muestran en la figura 1.



Figura 1. Análisis de confiabilidad (Pérez-Gómez Martínez, 2019).

Lo que ofreció el programa IBM-SPSS® permitió comprobar que el instrumento era confiable, ya que el Alfa de Cronbach que se obtuvo fue de 0.938, y de 0.951 con elementos estandarizados, en ese sentido se pudo confirmar la validez del cuestionario. Previo a la aplicación del instrumento se definió la cantidad de cuestionarios que era necesario aplicar para el estudio. Para tal efecto se tomó como universo conocido la totalidad de miembros de número tanto del Colegio de Arquitectos (Sifuentes Valadez, 2019) [25], como los del de Ingenieros Civiles (Rodarte Ortega, 2019) [26] de la Comarca Lagunera. La aplicación de la fórmula correspondiente sobre el número de individuos que arrojó el censo ofreció como respuesta la necesidad de aplicar 116 cuestionarios.

$$n = \frac{NZ^2pq}{(N-1)E^2 + Z^2pq}$$

$$n = \frac{220(1.88)^2(0.50)(0.50)}{(220-1)(0.06)^2 + (1.88)^2(0.50)(0.50)}$$

$$n = 116.26 \approx 116 \text{ cuestionarios}$$

Para el resto del análisis estadístico se ocupó el programa Statistica™, con el cual se procedió a determinar de todas las preguntas la estadística necesaria que nos permitiera generar inferencias y conclusiones sobre los resultados cuantitativos encontrados. El cuestionario completo como ya se comentó constó de diez preguntas principales, pero en este artículo se consigna la información recabada solamente de todos los ítems del segundo (salud de los trabajadores) y tercer cuestionamiento (rendimiento de la mano de obra), en relación con el trabajo en horas extras, dentro de la construcción.

Para conocer el parecer de los profesionales de la construcción, respecto al uso en la obra de la jornada extendida se buscó establecer las condiciones de la estadística descriptiva de los ítems referidos a la salud y el rendimiento de los trabajadores, cuando desarrollan horas extras para que su lectura permitiera sacar conclusiones ciertas. En las tablas 1 y 2 se muestran los datos obtenidos de la segunda pregunta que marcaba ¿En qué nivel del 0 al 10 estima que las horas extras impactan en la salud de los trabajadores?

Tabla 1. Horas extras / salud laboral.

#	Reactivo	Encuestas Válidas	Media X	Mediana	Moda	Frecuencia de la Moda
16	Exposición Elementos Dañinos	116.00	8.69	10.00	10.00	62.00
11	Número Horas Extras Laboradas	116.00	8.35	9.00	10.00	50.00
15	Cansancio del Trabajador	116.00	8.34	9.00	10.00	37.00
14	Edad Trabajador	116.00	8.34	9.00	10.00	47.00
18	Condiciones Climáticas Severas	116.00	8.31	9.00	10.00	46.00
19	Estado Físico en la Jornada	116.00	8.13	8.00	10.00	34.00
17	Merma Concentración	116.00	8.08	9.00	10.00	34.00
12	Relación Trabajo Familia	116.00	7.87	8.00	8.00	33.00
13	Enfermedades Previas Trabajador	116.00	7.65	8.00	10.00	29.00
20	Reducción Tiempo Ocio	116.00	7.18	8.00	8.00	25.00
			Xx =			
			8.09			

Fuente: Pérez-Gómez Martínez (2019).

Tabla 2. Horas extras / salud laboral.

Valor Mínimo	Valor Máximo	Desviación Estándar	Asimetría Estadística	Curtosis	Coefficiente Variación	Valor Z
0.00	10.00	2.05	-2.37	6.77	23.63	4.23
0.00	10.00	1.97	-1.35	1.95	23.59	4.24
0.00	10.00	1.80	-1.55	3.24	21.63	4.62
0.00	10.00	2.09	-1.55	2.19	25.11	3.98
1.00	10.00	2.01	-1.35	1.43	24.24	4.12
2.00	10.00	1.86	-1.14	0.93	22.91	4.36
0.00	10.00	2.02	-1.31	1.62	25.04	3.99
0.00	10.00	2.08	-1.22	1.70	26.41	3.79
0.00	10.00	2.18	-1.05	1.22	28.51	3.51
0.00	10.00	2.50	-1.00	0.69	34.82	2.87
		Ss =	Limite Superior = $\bar{X} - Ss$			8.28
		0.19	Limite Inferior = $\bar{X} - Ss$			7.90

Fuente: Pérez-Gómez Martínez (2019).

La lectura permite establecer que los valores consignados por la estadística descriptiva de esta pregunta hablan de la presencia de una curva normal, de que los datos son homogéneos, de que resultan comparables y en general bastante predecibles, por lo que permitirán elaborar inferencias y conclusiones importantes, dado que se ubican la mayoría de los datos dentro de un rango de una desviación estándar, mientras que casi el 100% de la información está dentro de dos desviaciones.

Se puede inferir por las opiniones vertidas que los impactos más obvios a la salud de los obreros son estimados de forma importante por los profesionales, dado que los valores de las medias (superiores a 8.31 sobre el máximo de 10) así lo demuestran para aspectos como la exposición a elementos dañinos, el número de horas extras trabajadas, el cansancio y la

edad del trabajador o los climas extremos. Pero es de resaltar que aspectos igualmente importantes como las afectaciones a la relación familia-trabajo, la reducción del tiempo de ocio o el saber sobre enfermedades previas de los trabajadores, no se consideren tan relevantes, a pesar de que a la larga provocan aspectos negativos en la salud física y mental de la mano de obra.

Con respecto a la tercer pregunta que abordaba ¿En qué nivel del 0 al 10 estima que las condiciones de trabajo impactan en el rendimiento de la mano de obra? Por cierto, requisitos que se vuelven más difíciles de cumplir por la inclusión de horas extras en los trabajos de la obra. Se abordó igualmente a los profesionales para determinar su parecer al respecto, y dentro de las tablas 3 y 4 se muestran los resultados encontrados.

Tabla 3. Condiciones laborales / rendimiento personal.

#	Reactivo	Encuestas Válidas	Media X	Mediana	Moda	Frecuencia de la Moda
25	Incumplimiento Condiciones Pactadas	116.00	8.53	9.00	10.00	51.00
23	Salario Devengado	116.00	8.34	9.00	10.00	37.00
22	Complejidad Proyecto	116.00	7.69	8.00	8.00	37.00
21	Ambiente Laboral	116.00	7.48	8.00	8.00	28.00
24	Ubicación Obra	116.00	7.27	8.00	8.00	30.00
			$\bar{X} =$			
			7.86			

Fuente: Pérez-Gómez Martínez (2019).

Tabla 4. Condiciones laborales / rendimiento personal.

Valor Mínimo	Valor Máximo	Desviación Estándar	Asimetría Estadística	Curtosis	Coefficiente Variación	Valor Z
2.00	10.00	1.87	-1.62	2.73	21.88	4.57
0.00	10.00	1.87	-1.78	4.16	22.41	4.46
0.00	10.00	2.13	-1.26	1.48	27.68	3.61
0.00	10.00	2.25	-1.23	1.75	30.09	3.32
0.00	10.00	2.32	-1.12	1.12	31.97	3.13
		$S_s =$		Límite Superior = $\bar{X} + S_s$		8.08
		0.21		Límite Inferior = $\bar{X} - S_s$		7.65

Fuente: Pérez-Gómez Martínez (2019).

La lectura de esta pregunta permite identificar que su estadística descriptiva, de la misma forma que el cuestionamiento anterior da la posibilidad de establecer inferencias y conclusiones válidas, ya que se resaltan con una media alta los aspectos del incumplimiento de las condiciones pactadas y el nivel de salario percibido como situaciones que en definitiva pueden afectar el rendimiento del personal. Pero de la misma forma es preocupante que el no procurar un mejor ambiente laboral o la ubicación del proceso constructivo, no se vean como aspecto que influyen negativamente en el rendimiento que puede alcanzar el recurso humano, cuando es claro que tienen que ser considerados con mayor atención.

Posteriormente ambos cuestionamientos fueron sujetos al análisis de la correlación, para lo cual nuevamente se ocupó el programa Statistica™, esto con la intención de detectar como se comportaban los ítems de

una pregunta con respecto a la otra, esto es si presentarían una correlación positiva o negativa, o no existiría relación alguna entre los conceptos. Los parámetros de la interacción se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Parámetros de la correlación.

Concepto	Valor
Número de cuestionarios (n)	116
Valor para "r"	0.238285
Valor para "P"	0.01
Fisher Z	0.242955

Límites correlación	Nivel de correlación
$r \geq 0.24$	Existe correlación
$0.00 < r < 0.24$	Sin correlación
≤ -0.01	Correlación negativa

Fuente: Pérez-Gómez Martínez (2019).

La correlación estadística permite que se puedan tomar decisiones basadas en lo observado en la realidad, dado que al considerar las percepciones de los profesionales de la construcción se detectan esas inferencias que muestran claramente cuando el ítem incluido en un

cuestionamiento genera algún tipo de impacto sobre el de otra pregunta. En tal sentido es que números abstractos como los arrojados por la estadística pueden ser entendidos de forma tal, que permiten el emprendimiento de acciones positivas para el desarrollo de un proceso constructivo.

De la correlación entre los dos cuestionamientos, la cual se muestra a continuación en la tabla 6, permite establecer que existen interacciones positivas, donde a

mayor relevancia de un aspecto, el otro también crece, por lo que, en tal sentido se puede observar que existen 13 en esa condición. Pero también se presentan de carácter negativo, en las que al incrementarse el valor presentado por un aspecto, el del otro decrece, y en esta correlación se puede observar que solo hubo dos interacciones con esa tendencia. Por último, se presentan un total de 35 situaciones que no demuestran correlación alguna.

Tabla 6. Correlación salud y rendimiento personal.

Rendimiento mano de obra / condiciones laborales						
Variable	Condición laboral, rendimiento personal, ambiente laboral	Condición laboral, rendimiento personal, complejidad del trabajo	Condición laboral, rendimiento personal, salario devengado	Condición laboral, rendimiento personal, ubicación de la obra	Condición laboral, rendimiento personal, incumplimiento de condiciones	
Horas extras, salud laboral, número de horas	0.20	<u>-0.09</u>	0.14	0.00	0.10	
Horas extras, salud laboral, relación trabajo familia	0.15	0.03	0.13	0.25	0.04	
Horas extras, salud laboral, enfermedades previas	0.14	0.11	0.23	0.16	0.26	
Horas extras, salud laboral, edad del trabajador	0.04	0.03	0.34	0.09	0.27	
Horas extras, salud laboral, cansancio trabajador	0.17	0.22	0.19	0.18	0.33	
Horas extras, salud laboral, exposición a elementos dañinos	<u>-0.05</u>	0.23	0.04	0.19	0.28	
Horas extras, salud laboral, merma de concentración	0.01	0.29	0.16	0.35	0.14	
Horas extras, salud laboral, condiciones del clima	0.16	0.20	0.17	0.09	0.30	
Horas extras, salud laboral, estado físico obrero	0.15	0.19	0.02	0.29	0.23	
Horas extras, salud laboral, reducción tiempo de descanso	0.08	0.29	0.21	0.31	0.32	

Fuente: Pérez-Gómez Martínez (2019).

Las correlaciones positivas dejan entender por inicio que entre mejor sean acotadas las condiciones que establezca la ubicación de la obra, la inclusión de horas extras en la obra podrá ser bien estudiada y por lo tanto no afectará ni la concentración ni el rendimiento

del personal (0.35). La consideración de la edad del trabajador para definir el total de horas extras a trabajar impactará positivamente en el rendimiento del obrero, si hay justicia hacia el salario devengado (0.34). Es importante al asignar horas extras conocer

el nivel de cansancio del obrero, y al respetar las condiciones pactadas, ambas situaciones no afectarán el rendimiento de la mano de obra (0.33).

Al considerar trabajo en jornada extendida se debe evitar el comprometer el tiempo de descanso de los obreros, ya que el incumplimiento de las condiciones laborales merma el rendimiento (0.32). El rendimiento del personal no se verá mermado por concepto de la ubicación de la obra, si ante la necesidad de horas extras, no se reduce el tiempo de descanso del personal (0.31). La asignación de horas extras debe contemplar las condiciones climáticas, y en tal sentido al respetar las condiciones laborales, no se verá mermado el rendimiento del recurso humano en la construcción (0.30).

Por otro lado, las correlaciones negativas presentes indican que entre más horas extras se trabajen, sin tener en cuenta la complejidad

del trabajo, el rendimiento del personal será mermado (-0.09). También es de considerar que cuando las condiciones del sitio de trabajo no tienen en cuenta el grado de exposición a elementos dañinos, el rendimiento y la salud del personal habrán de verse perjudicados (-0.05).

Por último dentro de los métodos experimentales se procedió a realizar el análisis factorial de las dos preguntas analizadas, lo cual se llevó a cabo por medio nuevamente del programa Statistica™. Este concepto permite detectar relaciones entre los ítems que no son claras a simple vista, pero que revisten una gran importancia para la toma de decisiones efectivas, en vías de lograr auténticas mejoras en el proceso de construcción. La información generada por el análisis factorial fue para las diez preguntas, pero a continuación en las tablas 7, 8 y 9 se consignan los datos relativos a la salud y el rendimiento del personal obrero.

Tabla 7. Análisis factorial.

CARGA FACTORIALES (VARIMAX NORMALIZADO)							
EXTRACCIÓN: COMPONENTES PRINCIPALES							
(LAS CARGAS MARCADAS SON > 0.700000)							
VARIABLE	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3	FACTOR 4	FACTOR 5	FACTOR 6	FACTOR 7
HE SL NÚM HOR	0.245431	-0.075323	0.090237	0.050999	-0.010051	0.041006	-0.067782
HE SL REL TRA FAM	0.047308	0.043769	-0.066485	0.093820	0.035064	-0.019762	0.008529
HE SL ENF PRE	0.152299	0.185254	-0.055135	0.119504	0.149224	0.010226	0.015815
HE SL EDA TRA	0.117471	-0.171314	0.018348	0.074274	0.024723	0.177413	0.463490
HE SL CAN TRA	0.161747	-0.070002	-0.062348	-0.167243	0.155677	0.006548	0.103946
HE SL EXP ELE DAÑ	0.092393	0.257355	0.133444	0.171599	0.062934	0.093606	0.091913
HE SL MER CON	0.201771	0.083836	0.041713	0.036182	0.287805	-0.044639	0.121020
HE SL CON CLI	0.112804	-0.057736	-0.121040	0.152936	-0.138719	-0.042987	0.210006
HE SL EST FÍS OBR	0.209359	0.025176	0.078883	-0.038976	0.231425	0.084621	0.092188
HE SL RED TIE DES	0.182385	0.009889	0.005532	0.153953	0.244492	0.175164	-0.183338
CL RP AMB LAB	0.129016	0.009500	0.083488	0.049634	0.051463	0.019479	0.072690
CL RP COM TRA	0.094613	0.119933	0.115589	0.138080	0.106596	0.078084	0.052792
CL RP SAL DEV	0.033219	0.140741	-0.033237	0.143534	0.063858	0.179877	0.112315
CL RP UBI OBR	0.071092	0.074743	0.217012	0.122011	0.174442	0.050652	-0.097610
CL RP INC CON	0.303446	0.105377	0.194590	-0.046340	0.172602	0.094121	0.088764

Fuente: Pérez-Gómez Martínez (2019).

Tabla 8. Análisis factorial.

FACTOR 8	FACTOR 9	FACTOR 10	FACTOR 11	FACTOR 12	FACTOR 13	FACTOR 14	FACTOR 15	FACTOR 16	FACTOR 17
-0.029092	0.107720	0.093888	0.135491	0.099950	-0.012501	0.726943	-0.026869	-0.115928	-0.004235
0.069347	0.015568	0.102761	0.839194	0.061923	0.025625	0.148931	0.020438	-0.036239	-0.021815
0.034419	0.092949	0.097220	0.146667	0.082721	0.053059	-0.016690	0.060521	-0.001926	0.084486
0.123645	0.265928	0.344749	0.191299	0.116287	-0.058382	0.085914	-0.012190	-0.126967	0.105059
0.392565	0.131333	-0.087685	0.319959	-0.185989	0.119724	0.089161	0.142945	0.114494	-0.038186
0.112441	-0.077158	-0.043462	-0.031579	0.026878	0.007203	0.043655	0.206724	0.036189	0.001859
0.145953	0.047514	0.027384	0.574573	0.111773	0.139613	-0.109848	-0.007719	0.265200	-0.061332
0.080070	-0.029881	0.170031	0.142477	0.352289	0.175059	-0.067592	0.064951	0.127804	0.062731
0.101735	-0.133015	0.229735	0.061047	0.212190	0.123025	-0.243207	0.245268	0.043407	-0.063108
0.180633	0.107351	0.218426	0.108360	-0.002704	-0.055399	0.019771	0.232990	0.256619	0.018601
0.045264	0.081715	-0.005041	0.043161	-0.003183	-0.033523	0.113114	-0.005637	-0.032148	0.015056
0.049206	0.072878	0.014348	0.031589	0.012251	0.055319	-0.151997	0.080961	0.747960	-0.035877
0.058365	0.799863	0.088808	0.062702	0.090038	-0.027562	0.117024	-0.014483	0.168238	0.068365
-0.081549	0.098011	0.097043	0.353966	-0.082714	0.050008	-0.131810	0.185567	0.421439	-0.010017
0.114217	0.089389	0.023599	-0.033468	-0.039503	0.126848	0.057295	0.010052	0.162716	0.001417

Fuente: Pérez-Gómez Martínez (2019).

Tabla 9. Análisis factorial.

FACTOR 17	FACTOR 18	FACTOR 19	FACTOR 20	FACTOR 21	FACTOR 22	FACTOR 23	FACTOR 24	FACTOR 25	FACTOR 26
-0.004235	0.002710	0.012025	-0.021191	-0.010445	-0.032044	-0.047504	-0.065695	-0.037647	0.132286
-0.021815	0.017757	0.046506	-0.002477	0.071437	0.024251	-0.053738	-0.079843	0.042623	0.079777
0.084486	0.028637	0.092037	0.087474	0.004867	0.043147	-0.033374	0.042831	0.796795	0.089994
0.105059	0.237674	0.237121	0.054403	-0.072302	0.102781	-0.253868	0.078667	0.091978	-0.187755
-0.038186	0.321666	0.194747	0.098251	0.167395	0.150994	0.001640	-0.130036	0.248421	0.107608
0.001859	0.132230	0.128300	0.592492	0.119658	-0.004086	0.091561	0.108500	0.287971	-0.213904
-0.061332	-0.288341	-0.141686	0.078174	0.126776	0.118012	-0.038742	0.083424	0.225398	-0.093147
0.062731	-0.190451	0.343686	0.292355	0.326487	0.166082	0.036407	0.058951	0.136104	0.104402
-0.063108	0.232623	0.041470	-0.088045	0.356667	-0.001674	-0.052479	-0.006165	0.407641	0.125135
0.018601	-0.121145	0.156993	0.236494	0.246455	0.204862	-0.038269	-0.126859	0.204999	-0.040462
0.015056	-0.047656	0.083159	-0.088397	0.030596	0.074913	-0.071467	0.082416	0.074809	0.760335
-0.035877	0.079126	0.139588	0.053647	0.101732	0.076728	0.005404	0.043096	-0.070143	0.005921
0.068365	-0.025305	0.075223	-0.005500	0.066387	0.051187	-0.032060	-0.032588	0.081064	0.115426
-0.010017	0.195193	0.126923	-0.071165	0.128963	0.067331	-0.021077	0.232540	0.037681	-0.145262
0.001417	0.055895	0.726654	0.082631	0.029002	0.043532	0.079375	0.046746	0.126986	0.103166

Fuente: Pérez-Gómez Martínez (2019).

Como puede observarse por los resultados obtenidos del análisis factorial quedaron establecidos 26 factores al definir los Eigen valores, que explican la problemática abordada en un 79.49737%. Lo anterior ofrece la posibilidad de detectar grupos más homogéneos por este procedimiento, o sea que la información encontrada en la correlación sea más sencilla de interpretar, ya que permite descomponer las respuestas en tantos instrumentos de interpretación, como factores se obtengan.

Dado que los resultados obtenidos por este análisis para las diez preguntas arrojó un gran total de 2,600 factoriales, en las tablas 7, 8 y 9 solo se presentan las que corresponden a las preguntas dos del impacto a la salud de los obreros por efecto del trabajo en horas extras, y la tres que refiere al rendimiento alcanzado por el personal de la construcción, por el mismo motivo de la jornada extendida (390). La siguiente interpretación corresponde a los valores altos que presentan ambas, y que establecen más claramente las relaciones ocultas, por lo que ayuda a asentar de forma más convincente las inferencias hacia la problemática.

En atención a que el valor obtenido para “r” desde la definición de la correlación entre preguntas fue igual a 0.238285 es que se pueden inferir conclusiones importantes de los factores que muestran valores superiores al de “r” ya citado. Lo anterior permitió que la problemática fuera abordada con soluciones puntuales y de relevante consideración. Dichos valores se enlistan a continuación.

Pregunta 2:

La asignación de horas extras afectará a la salud en relación con el número que se trabaje de estas en la construcción. Este aspecto se destaca en el factor 1 con un valor de 0.245431, y en el 14 con 0.726943.

La relación trabajo-familia se verá afectada en la medida en que se labore tiempo extra. Situación que se indica en el factor 11 con un valor de 0.839194.

El desconocimiento de enfermedades previas de los trabajadores puede llevar a que estas sean agravadas en las horas extras. Esto se consigna en el factor 25 con un valor de 0.796795.

Contemplar la edad de los trabajadores para asignarles tiempo extra es prioritario para no ocasionar problemas de salud. Tal situación se precisa en los factores 7 con un valor de 0.463490, en el 9 con 0.265928, y en el 10 con 0.344779.

Es vital tener en cuenta el cansancio que experimenten los trabajadores al final de la jornada normal, en vías de agregar tiempo extra. Tal detalle se torna importante en los factores 8 con un valor de 0.392565, en el 11 con 0.319959, en el 18 con 0.321666 y en el 25 con 0.248421.

La exposición a elementos dañinos y sus consecuencias sobre la salud en la obra se ve incrementada durante las horas extras. Se contempla en los factores 2 con un valor de 0.257355, en el 20 con 0.592492 y en el 25 con 0.287971.

El laborar en jornadas extendidas tiene un impacto negativo sobre la concentración al trabajo del elemento humano. Lo anterior se establece en los factores 5 con un valor de 0.287805, en el 11 con 0.574573 y en el 16 con 0.265200.

El trabajo en horas extra provoca que la mano de obra quede expuesta mayor tiempo a condiciones climáticas severas. Dicha situación se puntualiza en los factores 12 con un valor de 0.352289, en el 19 con 0.343686, en el 20 con 0.292355 y en el 21 con 0.326487.

El estado físico de los obreros debe ser tomado en cuenta al asignar trabajo en horas extras. Esto se destaca en los factores 15 con un valor de 0.245268, en el 21 con 0.356667 y en el 25 con 0.407641.

Cuando se labora tiempo extra, los trabajadores reducen su tiempo de descanso, lo que afecta su salud mental. Situación que se indica en los factores 5 con un valor de 0.244492, en el 16 con 0.256619 y en el 21 con 0.246455.

Pregunta 3:

Se determina que el ambiente laboral que reine en una obra puede impactar sobre el rendimiento del personal. Esto queda consignado por lo marcado en el factor 26, que presenta un valor de 0.760335.

La complejidad del proyecto ira de la mano del nivel de rendimiento que ofrezca el elemento humano. Situación patentizada en el factor 16 con un valor de 0.747960.

Definitivamente hay una dependencia directa del salario recibido, en relación con el rendimiento ofrecido. Este aspecto se constata en el factor 9 que presenta un valor de 0.799863.

La ubicación del proceso constructivo es un argumento que en ciertas ocasiones puede incidir sobre el rendimiento que ofrezca la mano de obra. esta situación se corrobora en los factores 11 con un valor de 0.353966, y en el 16 con 0.421439.

Por último, el incumplimiento de las condiciones laborales siempre será algo que afectará el rendimiento del personal. Lo anterior queda constatado por medio de los factores 1 con un valor de 0.303446, y el 19 con 0.726654.

IV. Discusión de resultados

Ocupar horas extras en las labores de la construcción siempre será un tema a discusión, y se torna incluso difícil el encontrar argumentos que apoyen su utilización como una buena medida, ya que por lo general se liga a una utilización forzada, que genera incrementos en los costos. Son innegables los efectos perjudiciales de la jornada extendida sobre la salud de la mano de obra, la pérdida de su efectividad y concentración al trabajo, el pago mayor de salarios, pero todo esto se suscita debido a los atrasos en la obra. El constructor no considera dicha medida dentro de la programación, y ante la posibilidad de no cumplir en tiempos o el de ser multados, el tiempo adicional se ve como un mal menor.

Pero el tiempo extra por sí solo no es el causante de pérdidas en la construcción, ya que si es debidamente planeado y programado, no acarreará los problemas a los cuales se le asocia generalmente, y pudiera llegar a brindar resultados positivos con su implementación, al no verse como una medida urgente obligada por el posible incumplimiento de los tiempos.

La consideración de las horas extras, sin duda incrementa los costos directos de la mano de obra en la construcción, pero el monto de los costos indirectos se reduce, ya que estos se establecen en referencia a la duración del proceso de edificación. La jornada extendida nunca debe surgir de improviso, porque en tal sentido sus consecuencias muy probablemente acarrearán mermas en las utilidades. Al contrario, si se tienen en cuenta desde las actividades de la planeación y la programación, sobre qué actividades convendría aplicar esta medida para reducir los tiempos de la obra, y que sean consideradas todas sus implicaciones tanto a los trabajadores, como al proceso y a la economía de la empresa, no tendría por qué

lastimar las finanzas de la constructora, ni provocar ningún tipo de daño anexo.

La información recabada en las fuentes consultadas, más los resultados obtenidos por el desarrollo de la estadística descriptiva, la correlación entre preguntas y el análisis factorial brindaron la oportunidad de poder diseñar un modelo de decisión, que permitiera

orientar las decisiones en la construcción, con respecto al mejor aprovechamiento de la jornada extendida, como estrategia para la obra. La figura 2 muestra dicho diagrama de flujo, con las consideraciones de las horas extras, sobre la salud de los obreros, y las afectaciones o impactos sobre el rendimiento que puede alcanzar la mano de obra, bajo esas circunstancias de trabajo.

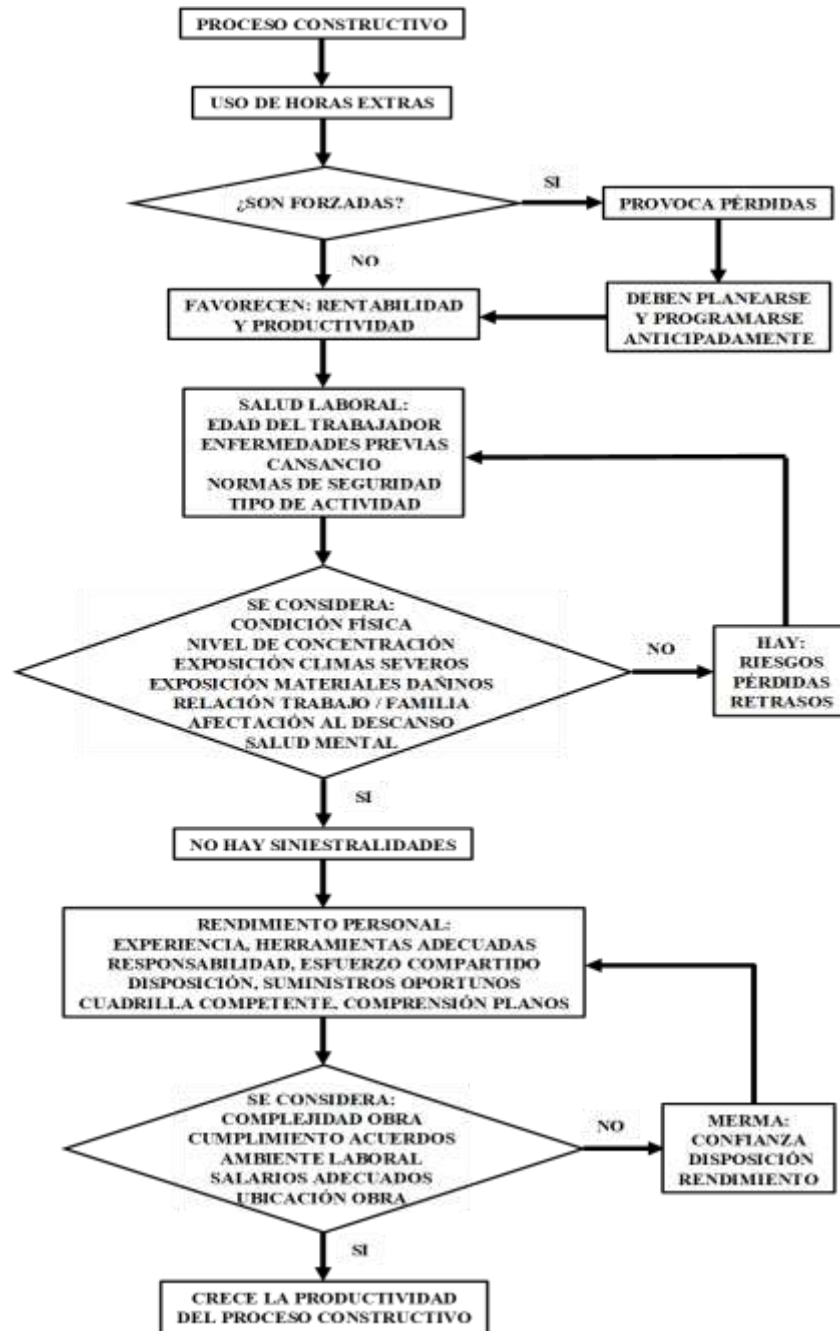


Figura 2. Diagrama de decisión (Pérez-Gómez Martínez, 2019).

Dentro del diagrama de decisión se establece que, si las horas extras son forzadas, generalmente provocarán pérdidas, este comentario se sustenta en la referencia de Evans (2016) [10] que indica que si no son preaprobadas habrán de incrementar los costos de la construcción. Por otro lado, Visser (2017) [4] indica que la jornada extendida se convierte en una gran carga financiera para la obra, sino se administra de forma adecuada, mientras que Vela Moreno (2019) [13] establece que el tiempo adicional será de beneficio para la obra, si es planeado con anticipación.

En cuanto a la salud laboral se establece en el diagrama de decisión, que tanto las condiciones del personal, como las vigentes en la obra pueden ser un factor de riesgo si no se consideran, o al contrario, el aspecto que eliminará las siniestralidades si son tomadas en cuenta. Lo anterior se respalda con los datos obtenidos en la estadística descriptiva, donde la exposición a materiales dañinos, el número de horas extras, el cansancio y la edad del trabajador obtuvieron las medias más altas en el cuestionario (8.69, 8.35, 8.34 y 8.34 respectivamente).

En general de la estadística descriptiva y el cálculo de todos los conceptos involucrados permitió conocer que la información recabada establecía la homogeneidad de los datos y que eran predecibles, por lo que a partir de ellos es posible que se puedan realizar inferencias, y sacar conclusiones aplicables a todo el sector de la construcción.

De los resultados obtenidos del análisis factorial se desprende la importancia de los aspectos de la salud, y como deben de ser conjugados cuando se labora tiempo extra en la obra. Recordando que el valor de referencia para la importancia del concepto en la problemática era de 0.238285 se indican a continuación los más relevantes de cada ítem de la pregunta referente a la salud, en relación

a las consecuencias por las horas extras: las afectaciones a la relación trabajo / familia alcanzaron un valor de 0.839194; el conocimiento de enfermedades previas uno de 0.769795; con referencia al número de horas extras 0.726943; exposición prolongada a elementos dañinos 0.592492; provocar merma en la concentración del personal obrero 0.574573; la edad del trabajador 0.463490; el estado físico del obrero 0.407641; el cansancio del trabajador al final de la jornada normal 0.392565; exposición prolongada a condiciones climáticas severas 0.352289 y reducción de las horas de descanso 0.256619.

Con respecto a las condiciones laborales en el diagrama de decisión, y su posible impacto por la realización de una jornada extendida se destaca la necesidad de tener presente los aspectos que favorecen el rendimiento del personal, y las implicaciones del ambiente laboral, para que no se merme la capacidad de la mano de obra, y que al contrario pueda crecer la productividad del proceso. La estadística descriptiva dejó patente la importancia del incumplimiento de las condiciones laborales, y el salario devengado, como los dos aspectos que podrían resultar más controversiales al laborar horas extras (las medias de cada ítem fueron de 8.53 y 8.34 respectivamente).

En cuanto al análisis factorial, los valores de este cálculo permitieron definir cuáles son los de mayor impacto de cada ítem dentro de la problemática. Entendiendo que hubo valores que superaron el de referencia, los más altos fueron los siguientes: el más crítico fue el salario devengado con un dato de 0.799863; el ambiente laboral generado en la obra 0.760335; la complejidad del proyecto impacta con un 0.747960; el incumplimiento por parte de la empresa de las condiciones pactadas 0.726654 y las complicaciones derivadas de la ubicación de la obra 0.421439.

Por último, también la correlación entre preguntas permitió elaborar el diagrama de decisión de una manera más pertinente. Se pudo establecer que las horas extras tendrán una menor merma de la concentración, en la medida en la que se tienen en cuenta las complicaciones derivadas de la ubicación de la obra (0.35); en la medida en que se tenga en cuenta la edad del trabajador al asignar la jornada extendida, su rendimiento no decaerá (0.34); y el mayor cumplimiento de las condiciones pactadas para el tiempo adicional, no incrementará el cansancio del personal (0.33).

La discusión del presente trabajo se estableció con referencia a las fuentes consultadas que mayor relación demostraron con la problemática abordada, teniendo como intención el marcar las diferencias o coincidencias de esos autores con lo obtenido en esta investigación, para ampliar el estado del arte.

Establece Eshofonie (2008) [1] que el costo es el concepto que establece el control en cualquier proyecto, el presente estudio corrobora lo anterior (por medio del análisis factorial, 0.726943 en el factor 14, para la incidencia en la salud laboral) al indicar que si el número de horas extras no se analiza previamente, los costos directos e indirectos de la obra reducirán las utilidades; expresan Fernely y Rodríguez (2015) [3] que la construcción se caracteriza por su falta de desarrollo, baja eficiencia y falta de competitividad, en esta investigación se define como un causal importante de lo anterior, el incumplimiento hacia el personal de las condiciones pactadas (observó una media de 853 en la estadística descriptiva).

En su investigación Visser (2017) [4] establece que el tiempo extra se traduce en un abuso del tiempo y dinero de la empresa, pero en este trabajo se argumenta que aunque el

rendimiento del personal estará en relación a la complejidad de la obra, las horas extras programadas no reducirán el tiempo de descanso de los obreros (correlación entre preguntas valor de 0.29); en su trabajo Watanabe & Yamauchi (2016) [5] expresan que un indicador fundamental del bienestar de los trabajadores es el equilibrio entre la relación familia-labores, esta investigación concuerda con dicha aseveración, ya que en el análisis factorial, este concepto obtuvo un valor de 0.839194 (en el factor 11).

El trabajo de Globerson (2017) [7] expone que la competitividad de una constructora descansa en el cumplimiento fiel de sus compromisos, este trabajo agrega que para lograr lo anterior es fundamental generar un ambiente laboral favorable, lo que se deja patente en el análisis factorial con un valor de 0.760335 (en el factor 26); establece en su estudio Ramírez Franco (2018) [24] que la mejora de la productividad acarrea beneficios para el cliente y el constructor, esta investigación agrega que un desempeño efectivo del factor humano al tener una exposición menor a elementos dañinos abona a incrementar la productividad, la anterior se respalda con el valor alcanzado por la media de este concepto de 8.69, en el análisis de la estadística descriptiva.

V. Conclusiones

La consideración de horas extras en la construcción tiene según la teoría investigada resultados no favorables, y en cuanto a la salud laboral y el rendimiento del personal debe ser cuidadosamente estudiada la jornada extendida, porque fácilmente puede traducirse en pérdidas para el proceso. Pero también resulta cierto que, el trabajo programado de las horas extras, no obligado, permite que el tiempo de la obra se reduzca substancialmente, evitando muchos imponderables que en ese lapso pueden afectar las utilidades proyectadas.

La reducción programada de los tiempos de la obra por medio de la jornada extendida, por principio hará que el impacto de los costos indirectos se detenga, se evitan repercusiones de posibles incrementos de los insumos e incluso puede favorecer el acceso a mejores precios, se elimina la posibilidad de la aparición de imprevistos, por lo que se puede argumentarse que las horas extras por sí solas no son el problema, sino que su aplicación forzada generalmente por atrasos de la construcción es la que lo convierte en una medida urgente, que incrementa definitivamente los gastos, y que se acepta al catalogarla como “un mal menor”.

En el caso de la salud de los obreros, las horas extras planeadas anticipadamente puede ser la posibilidad de que a menor tiempo en la edificación, se disminuyan los accidentes y enfermedades laborales. En referencia al rendimiento laboral es necesario que las actividades a desarrollar en ese tiempo extendido sean adecuadamente estudiadas, para que el cansancio o la merma en la concentración del personal, no redunde en una pérdida de la eficiencia y eficacia de los trabajos, sino que al contrario, esta medida pueda ser la llave para adelantar trabajos sin demérito de la calidad de estos.

Incluso en el impacto económico de las horas extras, el trabajo de Pérez-Gómez Martínez (2021) [27] sobre la elaboración de un análisis empírico de la realización de la construcción de una residencia, demostró que el periodo original de la obra de 50 semanas, por medio de la jornada extendida podría restársele a ese lapso, más de tres semanas, lo que representó solo una merma en las utilidades presupuestadas de menos del 5%, lo que permite considerarla como una medida conveniente para el proceso, dado que en ese tiempo que se restaría al estar la obra concluida, todos los posibles imprevistos ya no tendrían consecuencia.

Como conclusión se destaca que las horas extras debidamente planeadas y programas, no deben de ser un concepto de impacto negativo hacia la salud laboral y el rendimiento del personal, agregando que su impacto económico en tal sentido será mínimo y por lo tanto puede ser tomado en cuenta, y que al disminuir los tiempos de una edificación sin mermar la calidad del producto, la empresa podrá incrementar significativamente su competitividad, productividad y rentabilidad.

VI. Referencias

- [1] Eshofonie, F. P. (2008). Factors Affecting Cost of Construction in Nigeria. Covenant University, Trabajo de Grado. Nigeria. Recuperado de: http://eprints.covenantuniversity.edu.ng/346/1/PAT_MSc_1.pdf.
- [2] Cho, K.; Hong, T.; Hyun, C. (2010). Integrated Schedule and Cost Model for Repetitive Construction Process. Journal of Management in Engineering. ISSN 0742-597X, (2), 78-88. Corea del Sur. Recuperado de: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29ME.1943-5479.0000009>.
- [3] Fernely Moquete, F.; Rodríguez, T. (2015). Evaluación de la Productividad con Jornada de 4/10 en Proyectos de Construcción en Santo Domingo, República Dominicana. Revista Ciencia y Sociedad. ISSN 0378-7680, (1), 171-189. República Dominicana. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/870/87038991008.pdf>.
- [4] Visser, A. (2017). How to Manage Overtime. Finweek. ISSN 1812-4658, 44-45. Sudáfrica. Recuperado de: <https://www.news24.com/Fin24/how-to-manage-overtime-20171102>.

- [5] Watanabe, M.; Yamauchi, K. (2016). Psychosocial Factors of Overtime Work in Relation to Work-Nonwork Balance: A Multilevel Structural Equation Modeling Analysis of Nurses Working in Hospitals. *International Journal of Behavioral Medicine*. ISSN 1070-5503, (4), 492-500. Japón, DOI: 10.1007/s12529-016-9563-x. Recuperado de: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27102432/>.
- [6] Näswall, K.; Burt, C.; Pearce, M. (2015). The Moderating Effect of Control over Work Scheduling and Overtime on the Relationship between Workload Demands and Perceived Job Risk. *Work Journal*. ISSN 1051-9815, (3), 571-577. Nueva Zelanda. DOI: 10.3233/WOR-141885. Recuperado de: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24939119/>.
- [7] Globerson, S. (2017). Using the Earned Value Approach for Controlling Overhead Cost in Construction Projects. *Journal of Modern Project Management*. ISSN 2317-3963, 50-55. Israel. Recuperado de: <https://journalmodernpm.com/index.php/jmpm/article/view/JMPM01406>.
- [8] Zaho, L.; Mbachu, J.; Domingo, L. (2017). Exploratory Factors Influencing Building Development Costs in New Zealand. *Buildings*. ISSN 2075-5309, (3), 1-16. Nueva Zelanda. DOI: 10.3390/buildings7030057. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/318599284_Exploratory_Factors_Influencing_Building_Development_Costs_in_New_Zealand.
- [9] Bhutto, R. (2015). Extended Work Overtime: Labors' (Employees) Choice or Obligation. *South Asian Journal of Management Sciences*. ISSN 2074-2967, (2), 63-68. Pakistán. Recuperado de: <http://sajms.iurc.edu.pk/issues/2015b/Fall2015V9N2P4.pdf>.
- [10] Evans, P. (2016). Building Industry Braces for Changes. *Grand Rapids Business Journal*. ISSN 1045-4055, (26), 3-7. Estados Unidos. Recuperado de: <https://grbj.com/news/building-industry-braces-for-changes/>.
- [11] Pérez Gómez Martínez, G. J. F.; Betancourt Chávez, J. R.; López Montelongo, A. M.; Ponce Palafox, C.; Prince Ríos, J. G. (2017). Revisión de los Factores de Impacto en el Precio de Venta de la Vivienda de Nivel Social. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*. ISSN 1990-8830, (2), 1-13. Cuba. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193954081003>.
- [12] Pérez Gómez Martínez, G. J. F.; Botero Botero, L. F.; Cortés Martínez, F.; Prince Ríos, J. G. (2017). Impact on the Health of the Workforce for the Work in Extras Hours in the Construction. *International Journal of Engineering and Technical Research*. ISSN 2321-0869, (12), 4-7. India. Recuperado de: <https://www.neliti.com/id/publications/264922/impact-on-the-health-of-the-workforce-for-the-work-in-extras-hours-in-the-constr>.
- [13] Vela Moreno, V. B. (2019). Estudio de las Horas Extraordinarias en la Mano de Obra de la Construcción de la Comarca Lagunera de México. Tesis de Maestría. México. Recuperado de: https://drive.google.com/file/d/1DE6Sfc_hA_ArZ5Ixp5LPoMTREDrnhwBal/view?usp=sharing.
- [14] Narayan, B. (2014). Construction Sector Management: Status of Construction Workers in Mumbai. *Journal Research Horizons*. ISSN 2229-385X, (4), 86-94. India. Recuperado de: <https://mnwc.edu.in/researchhorizon/wp-content/uploads/2020/10/RH-2014.pdf>.
- [15] González, Y. L. (2015). Evaluación de la percepción del riesgo ocupacional en trabajadores de una empresa del sector de la construcción en Bogotá D.C. NOVA: Publicación Científica en Ciencias Biomédicas, volumen 13, tema 23, pp. 93-

107. ISSN 1794-2470. Colombia. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v13n23/v13n23a09.pdf>.

[16] Zahoor, H.; Chan, A. P. C.; Arain, F.; Gao, R.; Utama, W. P. (2016). An Analytical Review of Occupational Safety Research in Pakistan Construction Industry. *International Journal of Construction Project Management*, volumen 8, tema 2, pp. 125-140, ISSN 1944-1436. Pakistán. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/311545331_An_Analytical_Review_of_Occupational_Safety_Research_in_Pakistan_Construction_Industry.

[17] Carpio de los Pinos, A. J.; González García, M. N.; Moreu de la Vega, C; Hosokawa Menéndez, K. (2017). Idoneidad y Discrepancia de Métodos de Evaluación de Riesgos en Seguridad y Salud Aplicados en Obras de Construcción. *DYNA, Ingeniería e Industria*. ISSN 0012-7361, (2), 214-219. España. DOI: <https://doi.org/10.6036/8201> Recuperado de: <https://www.revistadyna.com/busqueda/ idoneidad-y-discrepancia-de-metodos-de-evaluacion-de-riesgos-en-seguridad-y-salud-aplicados-en-obras>.

[18] Karimi, H.; Taylor, T. R. B.; Goodrum, P. M. (2017). Analysis of the impact of craft labour availability on North American construction project productivity and schedule performance. *Construction Management & Economics*, volumen 35, tema 6, pp. 368-380, ISSN 0144-6193. Estados Unidos. DOI: 10.1080/01446193.2017.1294257. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/316494107_Analysis_of_the_impact_of_craft_labour_availability_on_North_American_construction_project_productivity_and_schedule_performance.

[19] Villarreal, J. A.; Puebla Rodríguez, M.; Fonseca González, R.; Álvarez Rivero, E. B. (2017). La tríada salud-trabajo-ambiente y su impacto en los trabajadores. *Revista Salud de los Trabajadores*, volumen 25, número 2, páginas 147-155, ISSN 1315-0138. Cuba. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/3758/375855579005.pdf>.

[20] Dixit, S.; Mandal, S. N.; Sawhney, A.; Singh, S. (2017). Relationship Between Skill Development and Productivity in Construction Sector: A Literature Review. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, volumen 8, tema 8, pp. 649-665, ISSN 0976-6316. India. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/319479589_Relationship_between_skill_development_and_productivity_in_construction_sector_A_literature_review.

[21] Long, D.; Arroyo, P. (2018). Language, Moods, and Improving Project Performance. 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. 18-20 Jul 2018. pp. 495-504. India. DOI: 10.24928/2018/0541. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/326466558_Language_Moods_and_Improving_Project_Performance.

[22] Prince Ríos, J. G. (2018). Impacto de la Mano de Obra Sobre los Procesos Constructivos de la Vivienda Social, en Torreón, Coahuila. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Coahuila. México. Recuperado de: <https://drive.google.com/file/d/1yPUlcfGE7EMB8TSmI4fXBCPt7MUXLEDy/view?usp=sharing>

[23] Vrijhoef, R.; Dijkstra, J. T.; Koutamanis, A. (2018). Modelling and Simulating Time Use of Site Workers With 4d BIM. 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. 18-20 Jul 2018. pp. 155-165. India. DOI:

10.24928/2018/0536. Recuperado de:
https://www.researchgate.net/publication/326352799_Modelling_and_Simulating_Time_Use_of_Site_Workers_With_4d_BIM.

[24] Ramírez Franco, A. D. (2018). La Formación Profesional en el Desempeño Laboral de los Trabajadores de la Construcción de la Empresa COSAPI. Tesis de Maestría, Universidad Inca Garcilaso de la Vega. Perú. Recuperado de:
http://repositorio.uigv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.11818/3665/TESIS_MBA_ANASTACIO%20DARDO%20RAMIREZ%20FRANCO.pdf?sequence=2&isAllowed=y.

[25] Sifuentes Valadez, A. A. (2019). Entrevista Personal. Maestro en Arquitectura. México.

[26] Rodarte Ortega, J. J. (2019) Entrevista Personal. Ingeniero Civil. México.

[27] Pérez Gómez Martínez, G. J. F. (2021) Análisis del Impacto Económico en una Construcción, con la Implementación de la Jornada Extendida. Tesis de Doctorado, Universidad Juárez del Estado de Durango. México. Recuperado de:
https://docs.google.com/document/d/1YjRZ_CfENofBkvQcP_B3yZ2796jMg2AO/edit#heading=h.gjdgxs.



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

Developing Micro-Columns of Test Sockets to Enable Processor Validation Signals Desarrollo de Micro-Columnas de Sockets de Pruebas para Habilitar Señales de Validación del Procesador

Encarnación-Robles, U.^{1*}, Pérez-Bustamante, R.², Arcos-Gutiérrez, H.³

¹ Posgrado CIATEQ, A.C., Av. Nudo Servidor Público #165 Col. Anexa al Club de Golf, Las Lomas, 45131 Zapopan, Jal., México.

² CONAHCYT - COMIMSA. Eje 126 225, Industrial San Luis, 78395 San Luis, S.L.P., México.

³ CONAHCYT - CIATEQ A.C. Eje 126 225, Industrial San Luis, 78395 San Luis, S.L.P., México.
ulisesencarnacion@ciateq.edu.mx; raul.perez@ciateq.mx; hugo.arcos@ciateq.mx

Technological Innovation: Electrically Conductive Material Characterization and Optimization.

Received: January 05th, 2023

Accepted: July 23th, 2023

Resumen

Este estudio aborda el desafío de optimizar la interconexión entre procesadores y micro almohadillas de contacto (uADC) durante el proceso de validación. Se busca aprovechar las señales de depuración para medir y diagnosticar interfaces en los procesadores, utilizando un interposer de depuración como interfaz de medición. Las uADCs representan una alternativa para incorporar contactos adicionales en la validación al ocupar un espacio entre las almohadillas del procesador comercial. Sin embargo, su desarrollo enfrenta desafíos tecnológicos como la reducción del área de contacto y la estabilidad de resistencia eléctrica. Para abordar estos desafíos, se propone el uso de un socket de interconexión (SDI) con tecnología de micro columnas de interconexión (uCDI), capaz de cumplir con la conductividad requerida. Los resultados experimentales muestran mediciones de resistividad eléctrica por debajo de cien ohmios, el cual es el valor máximo aceptado dentro del contexto de validación de procesadores. La implementación de las uADC y el uso del SDI con uCDI ofrecen ventajas en el proceso de validación al proporcionar acceso a señales previamente inaccesibles, sentando un precedente para futuras investigaciones en la miniaturización de contactos en productos comerciales.

Palabras clave: micro almohadillas de contacto, procesador, interposer depuración, Sockets de interconexión, micro columnas de interconexión.

Abstract

This study addresses the challenge of optimizing the interconnection between processors and micro contact pads (uADC) during the validation process. The aim is to leverage debug signals to measure and diagnose interfaces in the processors, using a debug interposer as a measurement interface. The uADCs represent an alternative for incorporating additional contacts in validation by occupying a space between commercial processor pads. However, the development of uADCs faces technological challenges such as reducing the contact area and ensuring electrical resistance stability. To address these challenges, the use of an inter-connection socket (SDI) with micro-column interconnect (uCDI) technology, capable of meeting the required conductivity, is proposed. Experimental results demonstrate electrical resistivity measurements below one hundred ohms which is the maximum accepted value within the context of processor validation. The implementation of uADCs and the use of SDI with uCDI offer advantages in the processor validation process by providing access to previously inaccessible signals, setting a precedent for future research in contact miniaturization in commercial products.

Keywords: micro contact pads, processor, debug interposer, interconnect socket, interconnection microcolumns.

1. Introduction

Microprocessor's developers often use product reference platforms to execute the validation of the IC packages. A reference platform consists of a Printed Circuit Board (PCB) which is equivalent to a commercial board, but is fully equipped with all available Input/Output modules [1].

In addition, there is an interposer board and a Land Grid Array (LGA) socket which sits on top of the reference platform [2]. This socket is made up of leaf springs contacts that are soldered to the PCB on the bottom side, and on the top side they connect to the interposer pads. To connect the interposer and the Integrated Circuit (IC) package, a burn-in socket is used which usually consists of flexible elastomer-based electrical interconnect columns with gold particles incrustated inside the elastomer [3] [4]. This socket is disposed on top of the interposer board to add the capability of fast exchange for the IC package connected to the interposer [5] [6].

In many cases, the LGA patterns of the ICs have a unique pitch dimension; consequently, the burn-in socket requirement is linked to this individual pitch and the physical dimensions of pads. Nevertheless, by introducing the use of Micro Pad technology [5] in IC packaging, new demands emerge with respect to the state-of-the-art, which include the mixture of Pads and uPads in the whole grid array pattern. To cope with the problems caused by multi-pads, one of the challenges presented is the reduction of the pitch between the different pads. To solve the physical space problem, the uPad size was reduced, to the point that the uPad can be placed in between the regular Pads without any potential interference, this solution was developed and patented [7] with the title "Framework including an interposer having an atypical shape".

The usage of uPads, on the other hand, presents new challenges for the performance of the burn-in socket columns [6], which will interconnect the newcomer IC uPads [8] [9]. The signal integrity performance of the columns represents an additional complexity,

as reducing the column volume, raises the risk of increasing resistivity in the electrical interconnection [10]. This resistivity must not exceed one hundred milliohms to be suitable for the testing environment.

The objective of this study is to develop innovative socket micro columns (uColumns) within the burn-in testing environment. The primary goal is to enable efficient interconnection between the micro signals of the processor during the validation phase. By incorporating these interconnections, the study aims to enhance the reliability of the processors and improve their overall performance.

As depicted in Figure 1. Interconnection system components, the composition of the assembly is formed by an IC package 1 that is placed on the top of the whole assembly. The IC package is constructed by a die 7, which is a small block of semiconductor material, finally, on top, an integrated heat spreader 6 (IHS) is attached over the die.

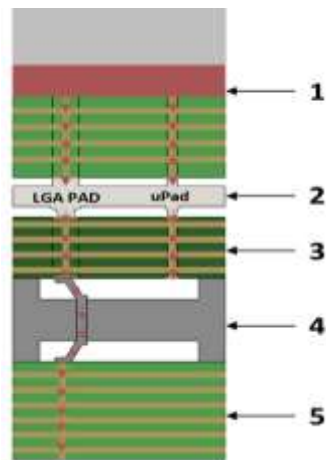


Figure 1. Interconnection system components.

[11] Located on the bottom of the die, there is a ground grid array 9, that connects the Flame-Retardant Level 4 (FR4) substrate 10 using a thin layer of copper, to connect the latest uPad 8, additionally, layers receive the signals from the die, and then a plated vias 11

connects the top Pads with the bottom LGA pad 13 and the bottom uPad on package 12.

Underneath the IC package, a Burn-in socket 2 is placed. This socket consists of an elastomer 16 that connects the different elements in the socket. One of those elements is the LGA Contacts 14, 15, which connect to the bottom LGA pads of the IC package. On the other hand, there are other contacts on the bottom of the socket. These contacts are like the ones located on top 19, 20, and their function is to connect the socket and the substrate 3 board.

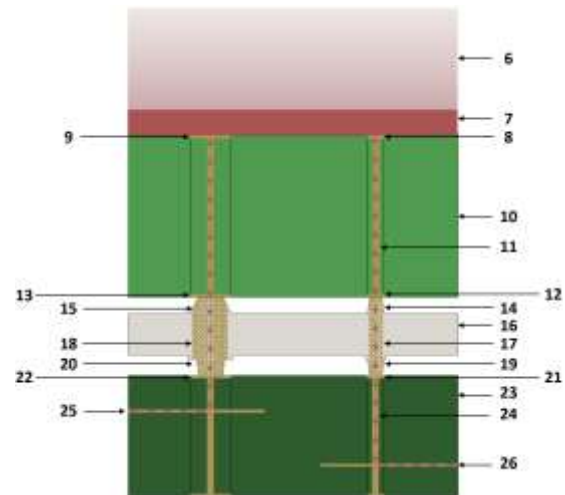


Figure 2. Interconnection subsystem components.

The uColumn 17, 18 [11] conduct the signals between the socket's top and bottom contacts. These columns are made of gold particles encrusted into an elastomer material, as shown in Figure 3. Burn-in socket columns.



Figure 3. Burn-in socket columns.

The burn-in socket is disposed on the top face of an Interposer 3, using LGA pads 21, 22 located on top of a printed circuit board FR4 23. These pads are connected through the board with the help of copper vias 24. These vias are subsequently routed through the different layers on the PCB, further interconnecting to the PCB surface of the interposer and other sections 26 with the LGA pads 26. The rest of the components in the system are the LGA Socket 4 and Reference Platform 5.

The main difference between LGA columns and uColumn is the physical dimension. LGA columns diameter is 0.35mm, while the diameter of the uColumn is 0.15mm. As a result, the total volume is reduced, hence the density is also reduced. The columns required a total compression of 0.1mm to be activated, Figure 4. Socket column diagram, shows this behavior, before and after the columns are compressed. To accomplish the desired compression, the legacy force per column is 25 +/- 10 grams.

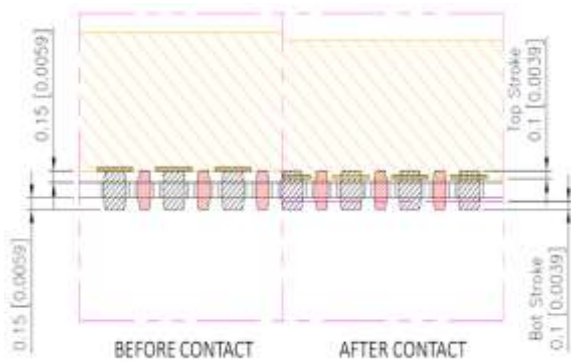


Figure 4. Socket column diagram.

Validation platforms are typically evaluated according to the product specification of temperature ranges from -40 °C to 120 °C. As the temperature change, different effects occur in the columns. One of the effects that have a greater impact is the thermal expansion of the elastomer of the gold particle impact tapping column.

Figure 5. Effect of boundary conditions, shows the socket in an uncompressed state, the gold particles 27 contacts 29 among them is marginal having a high resistance. Figure 5. Effect of boundary conditions, shown a compression of 0.1mm at an ambient temperature of ~24°C; with this contraction the gold particles have contact between them, consequence increasing the electrical conductivity through the column.

Nevertheless, when the temperature rises in the system up to 120°C, the golden particles separate following the elastomer 28 expansion caused by its thermal properties; hence, the electrical resistivity increases through the columns.

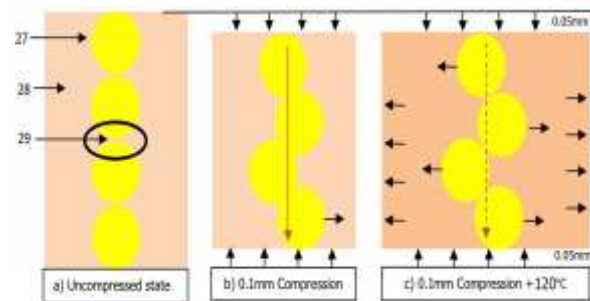


Figure 5. Effect of boundary conditions.

This study is characterizing the LGA Columns and the uColumn relationship between the compression of the column and the electrical conductivity through it within a high-temperature environment.

The described invention [7] [11] introduces an innovative system designed to interconnect small signals on an integrated circuit (IC) and provide access to those signals using an interposer. While the specific details of how the IC and interposer micro signals are interconnected are not covered, this article draws inspiration from the described invention. It conducts a thorough study of the challenges involved in achieving electrical interconnection and proposes a solution tailored to this application.

By addressing the challenges associated with interconnecting small signals on ICs, the proposed solution aims to enhance signal integrity, minimize noise interference, and optimize space utilization. It recognizes the importance of efficient access to these signals and acknowledges the limitations of conventional methods. Building upon the foundation laid by the described by the invention described above, this article proposes a novel approach that promises to revolutionize the interconnection process.

The proposed solution, although not explicitly detailed, is the result of careful analysis and consideration of the unique demands posed by small signals interconnections. By leveraging the capabilities of an interposer, the system seeks to bridge the gap between the IC and the external connections, facilitating easier access to the signals while ensuring reliable and robust electrical interconnection. While further details are needed for the proposed solution, this article offers valuable guidance for future research and development in this fields.

2. Materials and Equipment

The socket columns are developed by the company ISC® [6], the composition of this material is an elastomer [12] [13] and gold particles are incrustated as shown in Figure 3. Burn-in socket columns. Figure 6. Uniaxial test data shows the stress/strain chart of the hyperplastic material characterized using a five-term Moodley-Rivlin in Ansys® [14].

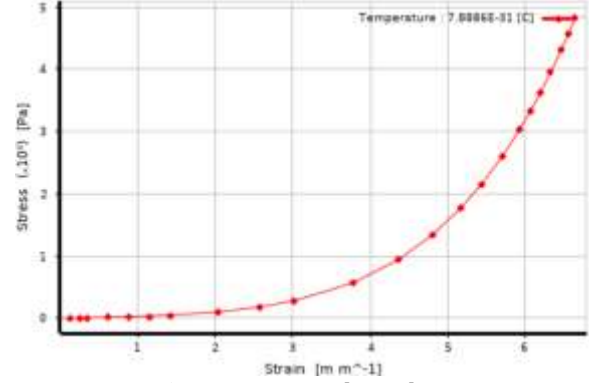


Figure 6. Uniaxial test data.

Due to the material's incompressibility, the function can be as shown in the equation:

$$W = W_D (\bar{I}_1, \bar{I}_2) + W_b (J) \quad (\text{Eq. 1})$$

Where $W_b (J)$ represents the volumetric strain energy function and J the Jacobian and $W_D (\bar{I}_1, \bar{I}_2)$ the deviatoric strain energy function. The polynomial is based on the first variant deformation $\bar{I}_1$ and the second variant deformation $\bar{I}_2$ of the Cauchy-Green tensor [15].

$$W = \sum_{i+j=1}^N C_{ij} (\bar{I}_1 - 3)^j + \sum_{k=1}^N \frac{1}{d_k} (J - 1)^{2k} \quad (\text{Eq. 2})$$

Where C_{ij} and d_k are required in the model.

For the five-terms:

$$W = C_{10} (\bar{I}_1 - 3) + C_{01} (\bar{I}_2 - 3) + C_{20} (\bar{I}_1 - 3)^2 + C_{11} (\bar{I}_1 - 3) (\bar{I}_2 - 3) + C_{02} (\bar{I}_2 - 3)^2 + \frac{1}{d_1} (J - 1)^2 \quad (\text{Eq. 3})$$

Another phenomenon that is governing the model is the effect of the thermal expansion of the material due to the presence of thermal loads in the system. Thermal expansion can be described as the change in shape, area, volume, and density in response to a change in temperature. The coefficient of thermal expansions on nanocomposites is defined as [16]:

$$\beta = \frac{1}{V} \left(\frac{\delta \rho}{\delta T} \right)_p \quad (\text{Eq. 4})$$

Where β is the coefficient of thermal expansion, where V is the volume, T is the temperature and P is the pressure in the system. In terms of density the equation can be represented as:

$$\beta(T) = \frac{-1}{\rho} \left(\frac{\delta \rho}{\delta T} \right)_P \quad (\text{Eq. 5})$$

3. Experimental Methods

The experimentation was conducted using a lab experiment, a simulation, and a correlation between both. The lab experiment includes five different devices to emulate the system function. Additionally, the characterization of the boundary conditions that emulate the system environmental aging; includes the controlled temperature and loading, and the required instruments to measure the behavior on two columns as shown in Figure 7. Testing set-up.



Figure 7. Testing set-up.

One of the test devices is a test vehicle that was made to mimic the IC package's physical dimensions including the LGA pads and uPads 29. uPads are connected in groups, as shown in Figure 8, which allows measuring of the electrical resistance on a test board.

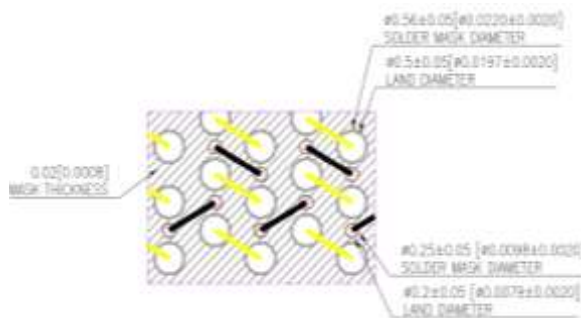


Figure 8. Test vehicle land pattern.

The second device is a functional Burn-in Socket [6] developed with the LGA columns and uColumns 28. The third device is a test board that mimics the function of the interposer [11] 27. When both devices are connected then the daisy chain is closed. The test board is shown in Figure 9. Test board land pattern. The fourth and fifth devices are a Legacy LGA socket and a legacy reference platform.

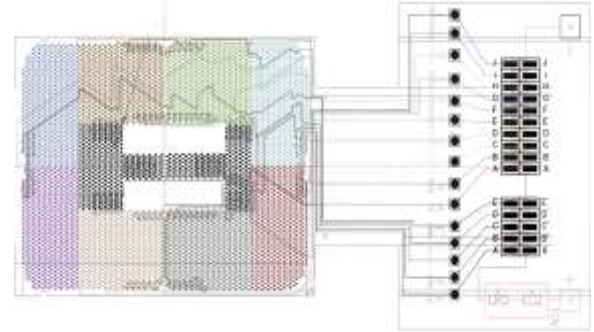


Figure 9. Test board land pattern.

To control this load, a retention mechanism 30 was designed to apply load using a back plate support that keeps the reference board stiff and on the top side [17], a heatsink applies the load to the system using linear compression springs, as shown in Figure 7. Testing set-up. This load was calculated to apply a total force of 25 grams per column. This force is calculated with the formula:

$$F = k (x - x_0) \quad (\text{Eq. 6})$$

Where k represents the spring constant and x the system in equilibrium and x_0 the compression of the spring.

This study is aiming to evaluate the novel uColumns by performing laboratory testing and simulation processes to understand the conductivity that should be $X < 100 \mu\Omega$. The analyzed material has been characterized to calculate the amount of resistance that passes through it, by plotting the compression and the reaction force after the compression.

To collect readings of the resistance in the system, during the test experiment, a data logger DATAQ INSTRUMENTS® model DI-245, was attached to a digital multimeter AGILENT® Model HP 34401A was connected to the interposer test board surface mounted connected to the testing pads. With this interconnection, it was possible to access to the diverse groups of daisy chain signals. The system was analyzed using different temperature boundary conditions from -40 °C, 25 °C, and 120 °C. A Thermotron® S/SM series environmental thermal chamber was used to create a profile oscillating between the lowest and heights temperature. Measurement was recorded every 30 seconds for a period of 48 hours.

A finite element analysis (FEA) was conducted using the simulation software ANSYS® [14]. A model was created using the information from the Socket builder [6], as well as the IC and interposer specifications. Figure 6. Uniaxial test data depicts the different elements in the model; The study is a two bi-dimensional analysis, with an axisymmetric graphical expansion used as axial. Figure 10. Test board land pattern shows the section on contact representation.

The interposer pad is represented by the letter A, this pad is fixed and connected to the column with a frictional contact of a friction coefficient of 0.2; on the other side, the IC pad is represented by the letter B, this pad has a displacement on the -Y axis of 0.1mm and connected to the column with a contact with a coefficient of friction of 0.2. both pads have material of cooper and are connected to the column with frictional contact.

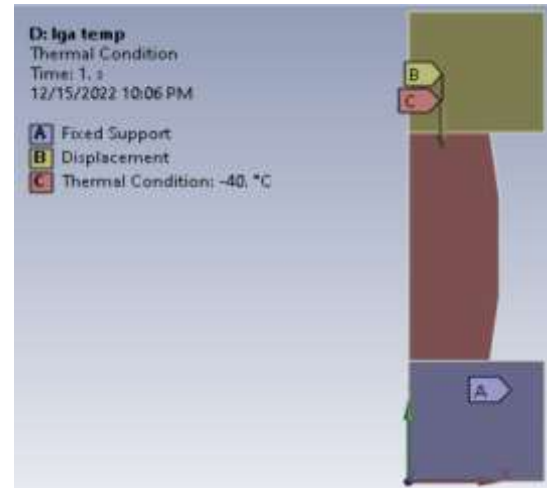


Figure 10. Test board land pattern.

4. Results

By finding the reaction force at certain compression, this result can be correlated to the column characterization graph shown in Figure 11. Column characterization Resistivity/Force graph. Where it can be observed the behavior of the column compression and the force at different temperatures. The Resistance is also plotted on the right.

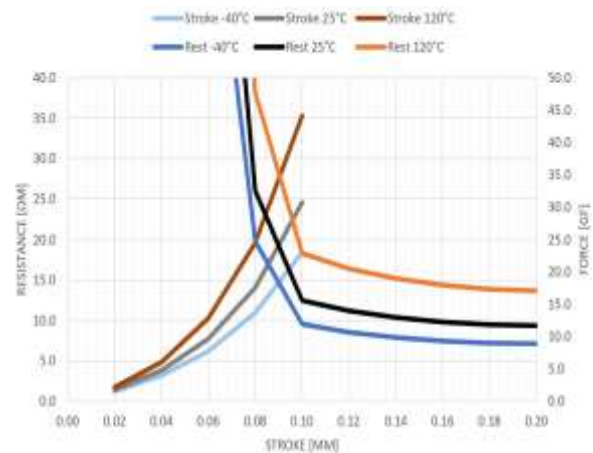


Figure 11. Column characterization Resistivity/Force graph.

A similar graph for the uColumn is shown in Figure 12. uColumn characterization Resistivity/Force graph. As the dimension of the column changes the behavior also changes.

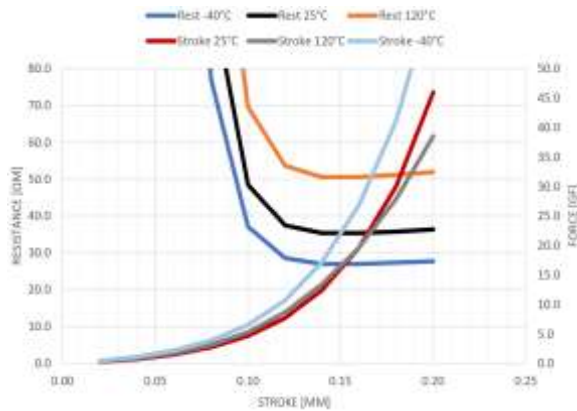


Figure 12. uColumn characterization Resistivity/Force graph.

The measurements in the labs are depicted in Figure 13. Test measurements. Two different lines are plotted; the orange line represents the measurement of the LGA columns. While the uColumns are represented with a blue color. The resistance [18] [19] oscillates as the temperature changes over time. When the system reaches the temperature of 120°C. The measurement of the uColumns, after the resistance stabilization, is 63.2 mΩ. For the LGA Columns, the measurement is 24 mΩ. this is caused due to the deformation that occurred on the material.

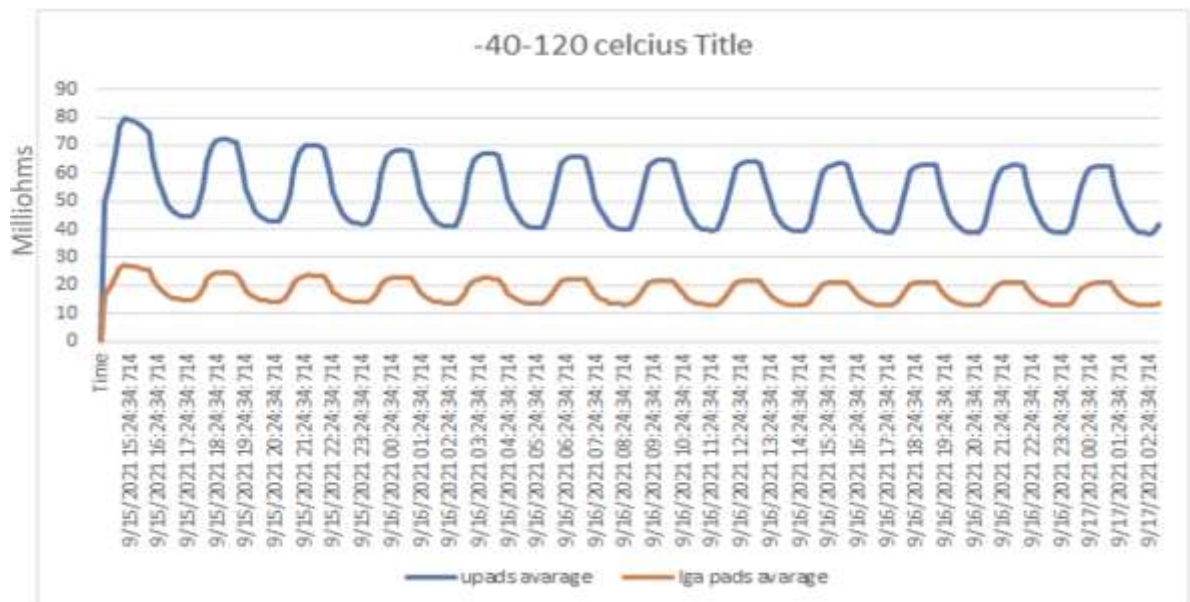


Figure 13. Test measurements.

To have a better understanding of the material behavior three different scenarios are shown; as a baseline, it was modeled the current LGA column at 120°C and a total compression of 0.1mm, Figure 14. LGA Column Deformation, shows the LGA pad deformation with a maximum deformation of 0.0309mm.

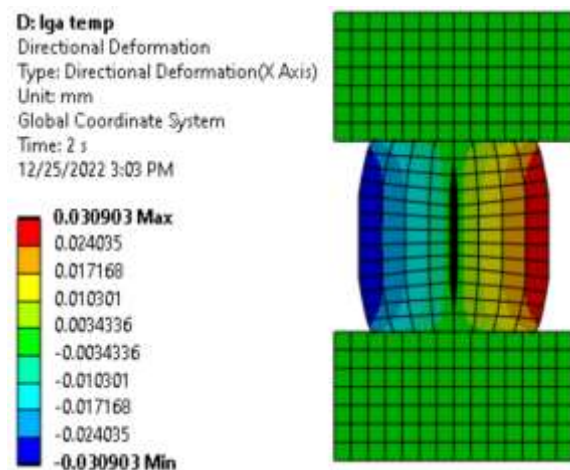


Figure 14. LGA Column Deformation.

Figure 15. LGA Column Force/Deformation depicts the relation of the deformation within the compression, the behavior is linear, and is correlated to the thermal strain. On the other side, the reaction force is a curve, and it is equivalent to the equivalent stress, the force when the stroke reaches 0.1mm is ~35 gf.

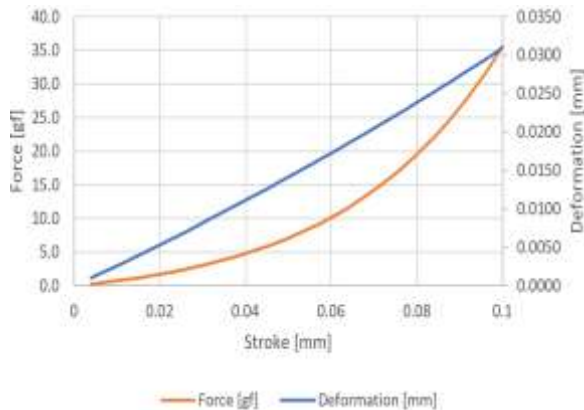


Figure 15. LGA Column Force/Deformation.

The uColumn simulation shows a smaller deformation, of only 0.0175mm at a compression of 0.1mm, the reason is due to the reduction of the volume itself.

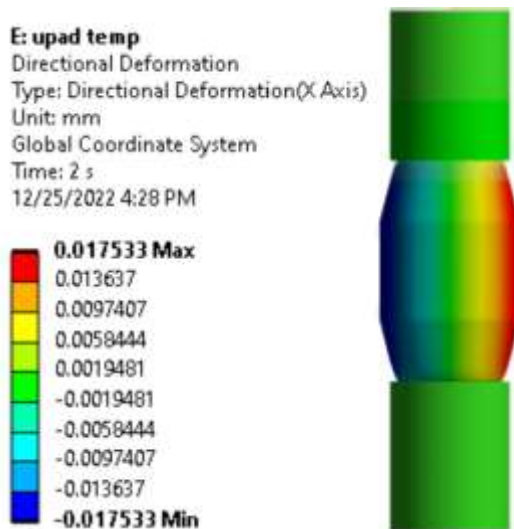


Figure 16. uColumn Deformation.

As the deformation also decreases the reaction force is also decreasing. Figure 16. uColumn Deformation shows the behavior of the force which is as low as ~11gf.

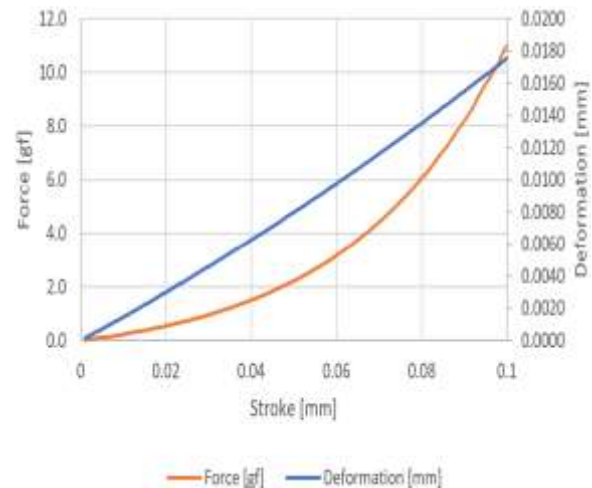


Figure 17. uColumn Force/Deformation.

The correlation factor in shown Figure 17. uColumn Force/Deformation allows to know the resistivity in the column, and iteration was run to evaluate the resistivity at different temperatures. Figure 18. uColumn Resistance/Temperature depicts the resistance behavior [20] [21]

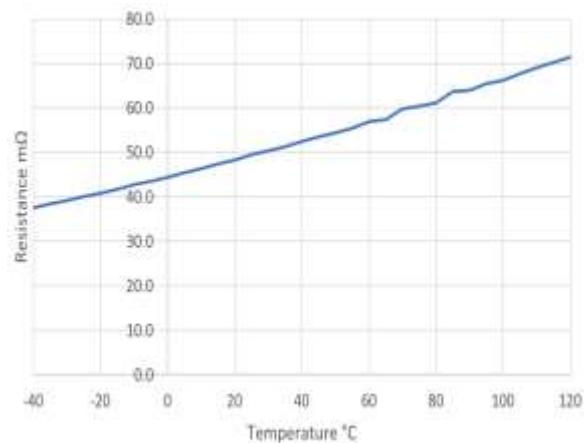


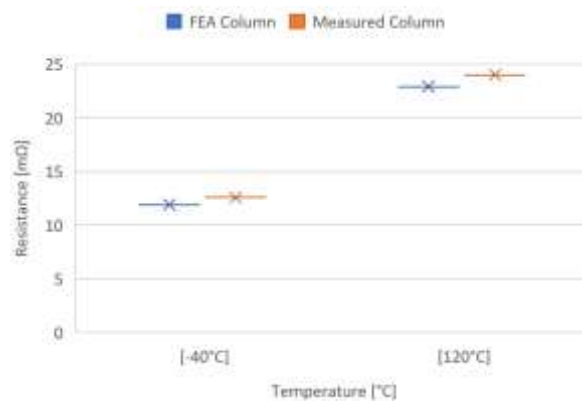
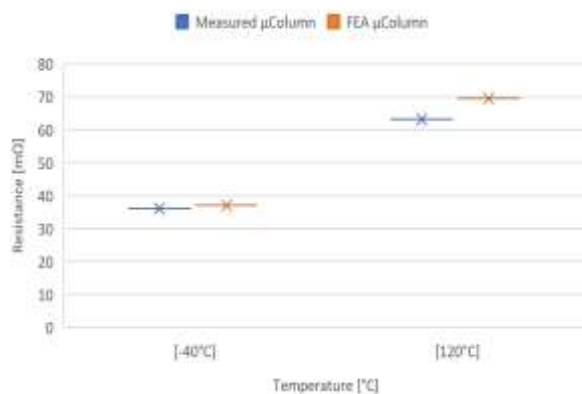
Figure 18. uColumn Resistance/Temperature.

Table 1. Simulation results presents the results for various scenarios at higher temperatures, incorporating an additional stroke of 0.14mm. The LGA Column at 120°C is 22.9 mΩ, and the resistance increases when the uColumn is characterized, to 69.5 mΩ. When the stroke increases from 0.1mm to 0.14mm to the same uColumn the electrical resistance decreases to 23.0 mΩ.

Table 1. Simulation results.

Temperature (°C)	Stroke (mm)	Force (gf)	Resistance (mΩ)
COLUMN			
-40	0.1	18.3	11.9
25	0.1	24.0	15.6
120	0.1	35.2	22.9
uCOLUMN			
-40	0.1	5.7	37
25	0.1	7.5	48.5
120	0.1	10.7	69.5
uCOLUMN with 0.14 mm STROKE			
-40	0.14	15.0	15.0
25	0.14	18.2	18.2
120	0.14	23.0	23.0

The correlation between the FEA model with the measured data in the lab is shown in Figure 19. Column FEA vs Measured, in Figure 20. uColumn FEA vs Measured the values are close to each other especially at low temperatures, in the temperature of 120°C de delta is slightly larger, but the margins stay closed.

**Figure 19.** Column FEA vs Measured.**Figure 20.** uColumn FEA vs Measured.

5. Conclusions

The research conducted in this study presents compelling evidence that the uColumns integrated into the SDI are highly appropriate for Burn-in applications. The obtained resistivity values fall significantly below the critical threshold of one hundred milliohms, making them well-suited for use in debug applications as well.

Moreover, the study goes beyond the assessment of Burn-in suitability and delves into the realm of interconnection applications. It provides a detailed demonstration of the uPads' functionality for testing purposes [11]. The findings shed light on the practical aspects of utilizing uPads for interconnection applications, indicating their potential value in a broader range of testing scenarios.

These results hold significant promise for the electronics industry, as Burn-in testing is crucial for ensuring the reliability and longevity of electronic components. By showing that the uColumns on the SDI meet the stringent requirements for Burn-in applications, the study provides a basis for their integration into electronic devices, enhancing their overall performance and dependability.

Additionally, the study's exploration of uPads for interconnection applications opens new avenues for efficient and effective testing procedures. The successful demonstration of uPads' functionality in this context suggests the possibility of streamlining testing processes and improving the overall testing accuracy in various electronic manufacturing stages.

6. Acknowledgments

Intel Guadalajara Design Center's sponsorship made this study possible, providing essential support and resources. It

holds great significance for future projects and has led to valuable insights and advancements in the field. The researchers are deeply grateful for Intel's support, which made this study a reality and paves the way for future innovations in electronics and technology.

The researchers express their gratitude to Centro de Tecnología Avanzada for providing the motivation that drove this study. Centro de Tecnología Avanzada's unwavering support and encouragement served as a catalyst for collaboration and innovation among the researchers.

Bibliography

- [1] H. G. Rotithor, "Postsilicon Validation Methodology for Microprocessors", *IEEE Design & Test of Computers*, pp. 77-88, October 2000.
- [2] A. S. Nizam, M. K. Ramadas and M. H. Marhaban, "Interposer Technology in Advanced Packaging for Microelectronic Systems: A Review", *Journal of Microelectronics and Electronic Packaging*, pp. vol. 13, no. 3, pp. 141-150, 2016.
- [3] Y. S. Chen, J. C. Huang and Y. W. Chen, "Design and Optimization of LGA Socket for High-Speed Interconnects", *IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology*, pp. vol. 9, no. 2, pp. 246-254, 2019.
- [4] A. G. Hemmati, "Burn-In Socket Design and Characterization for High-Power Integrated Circuits", *Journal of Electronic Testing: Theory and Applications (JETTA)*, pp. vol. 35, no. 4, pp. 405-414, 2019.
- [5] U. Encarnacion, R. Pérez, R. Astro, A. Zenteno and M. J. García, "Framework including an interposer having an atypical shape", in *Design and Test Technology Conference*, Portland, 2021.
- [6] ISC, "ISC International", ISC International, 2017. [Online]. Available: <http://www.iscintl21.com/>. [Accessed November 2022].
- [7] U. Encarnación , R. Pérez, R. Astro, A. Zenteno and M. J. García, "Framework including an interposer having an atypical shape". United States Patent US20220094094A1, 24 March 2022.
- [8] L. Zhang, Z. Li and L. Zhang, "Design and Optimization of Micro-Pad Interconnects for IC Packaging", *Journal of Microelectronics and Solid-State Electronics*, vol. 32, no. 3, pp. 144-150, Mar. 2015.
- [9] S. Chen, C. Lee and C. Lin, "Impact of uPad Design on Electrical Performance for 3D IC Packaging", *Journal of Electronic Materials*, vol. 45, no. 10, pp. 4857-4864, 2016.
- [10] Y. L. L. a. C. W. W. M. Y. Liu, "A Study of Micro-Interconnect Technology for IC Packaging", *IEEE Transactions on Advanced Packaging*, vol. 36, no. 3, pp. 513-520, 2013.
- [11] R. Pérez, R. Astro, A. Zenteno, M. J. García and U. Encarnación, "Atypical-Shape Debug Interposer Design Based on High-Density Micropad Technology", in *Design and Test Technology Conference*, Portland, 2021.
- [12] H. Kim, J. J. Kim, J. Park, S. Park, S. Choi, B. Bae, D. Ha, M. Bae and J. Kim, "High-Frequency Modeling and Signal Integrity Analysis of a Silicone Rubber Socket for High Performance Package", *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, vol. 7, no. 8, pp. 7(8), 1356–1368, August 2017.
- [13] M. K. D. C. W. J. Y. J. H. L. C. & L. K. S. Reddyprakash, "Fabrication of

- Pressure Conductive Silicone Rubber Socket Device by hape-Controlled Nickel Powders Produced by High-Energy Ball Milling", *Advances in Microelectronics and Semiconductor Engineering*, vol. 15, no. 19, p. 6670, 2022.
- [14] ANSYS, "ANSYS", 8 DECEMBER 2022. [Online]. Available: <https://www.ansys.com/>. [Accessed 2022].
- [15] D. & M. T. Huri, "Comparison of the material models in rubber finite element analysis", in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Novi Sad, 2018.
- [16] M. A. F. & T. D. Hadipeykani, "A molecular dynamics simulation of the glass transition temperature and volumetric thermal expansion coefficient of thermoset polymer-based epoxy nanocomposite reinforced by CNT: A statistical study. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications", *Science Direct*, vol. 546, no. May 15, p. 123995, 2020.
- [17] D. J. T. G. C. H. S. & H. R. Saums, "Mechanical Insertion and Reliability Testing of Thermal Interface Materials for Semiconductor Test and Burn-in Applications", *IMAPS papers, 52nd 3 (International Symposium on Microelectronics)*, pp. 10.4071/2380-4505, 2019.
- [18] j. Š. Z. C. I. Krajči, "Relationship between conductivity and stress-strain curve of electroconductive composite with SBR or polycaprolactone matrices", *European Polymer Journal*, vol. , pp. 135-143, 2014.
- [19] M. G. A. d. S. M. A. d. S. L. O. & B. M. M. Vieira, "Natural-based plasticizers and biopolymer films: A review", *European Polymer Journal*, pp. 47(3), 254–263 , 2011.
- [20] S. J. S. K. K. H. & K. H. J. Heo, "Mechanically resilient integrated electronics realized using interconnected 2D gold-nanosheet elastomeric electrodes", *NPG Asia Materials*, p. 14(1), 2022.
- [21] X. I. J. P. C. M. D. J. & B. D. Chen, "Temperature dependence of the conductivity in conducting polymer composites", *Polymer*, vol. 35, no. 24, p. 5256–5258, 1994.



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

Análisis de los efectos de la implementación de gestión de relaciones con el cliente en empresas de serigrafía y bordado de la ciudad Tijuana, Baja California

Analysis of the effects of the implementation of customer relationship management in screen printing and embroidery companies in the city of Tijuana, Baja California

Martínez-León, B.C., Cruz-Estrada, I., Miranda-Zavala, A.M.*

Facultad de Turismo y Mercadotecnia; Universidad Autónoma de Baja California; C.P. 22390 Tijuana, Baja California.

bmartinez6@uabc.edu.mx; icruz@uabc.edu.mx; amiranda@uabc.edu.mx*

Innovación tecnológica: Tecnologías de la Información y Comunicación.

Área de aplicación: Comunicación y Tecnología.

Recibido: 16 febrero 2023

Aceptado: 22 agosto 2023

Abstract

Objective: to analyze the effects of the implementation of Customer Relationship Management (CRM) in screen printing and embroidery organizations in Tijuana, according to the opinion of the companies' managers. **Methodology:** The quantitative survey technique was applied in 30 silk-screen printing and embroidery organizations of this locality with registration in the National Statistical Directory of Economic Units (NSDEU). **Results:** Through regression analysis, it was found that there is a mean correlation between the independent variables: (customer orientation, technology, knowledge management, organizational variables); with the dependent variable (CRM results). According to the opinion of the administrators the implementation of CRM brings benefits in sales, profitability of the service, satisfaction and consumer trust. **Value:** The research provides results on the importance of CRM to improve the delivery of value to customers and benefits to businesses. **Limitations:** there may be other variables that influence the competitiveness of organizations among which are the location of the establishment, infrastructure, innovative capacity, among others), which may be subject of another study. **Conclusions:** The correct application of CRM increases the likelihood of satisfying customer needs, attracting more service users and gaining the trust of existing customers.

Keywords: Customer orientation; Knowledge management; Technology; Customer satisfaction; CRM.

Resumen

Objetivo: analizar los efectos de la implementación de la Gestión de Relaciones con el Cliente (CRM) en organizaciones de serigrafía y bordado de Tijuana, de acuerdo con la opinión de los administradores de las empresas. **Metodología:** Se aplicó la técnica cuantitativa de encuesta en 30 organizaciones de serigrafía y bordado de esta localidad con registro en el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE). **Resultados:** Mediante análisis de regresión, se encontró que existe una correlación media entre las variables independientes: (orientación al cliente, tecnología, gestión del conocimiento, variables organizativas); con la variable dependiente (resultados del CRM). De acuerdo con la opinión de los administradores la implementación del CRM trae beneficios en las ventas, rentabilidad del servicio, satisfacción y confianza del consumidor. **Valor:** La investigación aporta resultados sobre la importancia CRM para mejorar la entrega de valor a los clientes y los beneficios para las empresas. **Limitaciones:** pueden existir otras variables que influyan en la competitividad de las organizaciones entre las cuales se encuentran la ubicación del establecimiento, infraestructura, capacidad innovadora, entre otros, las cuales puede ser sujeto de otro estudio. **Conclusiones:** Mediante la correcta aplicación del CRM se incrementan las probabilidades de satisfacer las necesidades de los clientes, atraer más usuarios del servicio y conseguir la confianza de los clientes actuales.

Palabras clave: Orientación al cliente; Gestión del conocimiento; Tecnología; Satisfacción del cliente; CRM.

Introducción

A causa de la pandemia Covid-19, las empresas se han visto afectadas negativamente en sus ingresos económicos, muchas de ellas tuvieron que cerrar indefinidamente sus operaciones, causando la pérdida de miles de trabajos (Cepel *et al.*, 2020). De acuerdo con la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), la caída de las actividades económicas en esta zona del planeta expuso la fragilidad y falta de preparación de los gobiernos y las compañías asentadas en estos países, para hacer frente a las afectaciones de la contingencia sanitaria (CEPAL, 2020).

Con este panorama, las organizaciones tienen el reto de adecuar el funcionamiento de sus procesos e incorporar nuevos componentes tecnológicos y estratégicos para acercar sus productos al mercado, tomando en cuenta los nuevos requerimientos de operación en los negocios (Vargas-Sánchez, 2020). La

situación para hacer frente a las nuevas necesidades en el contexto mundial durante la pandemia COVID-19, requiere de mayor flexibilidad y uso de los diversos canales de venta, así como del eficiente proceso de gestión de las relaciones con los clientes (*Customer relationship management*, CRM), que permitan conservar la cartera de clientes procurando priorizar la entrega de valor del servicio (Gajdzik & Wolniak, 2021). Esto motiva a los consumidores a realizar compras proactivas, de acuerdo con las necesidades presentes, revisando con mayor detalle las características de los beneficios.

La aplicación del CRM en la Micro, Pequeña y Mediana Empresa (MIPYME) durante la pandemia ha proporcionado efectos positivos para el conocimiento de las necesidades y expectativas del mercado meta, permitiendo mantener la operación de los negocios y haciendo llegar con mayor efectividad la oferta a los usuarios (Pratiwi & Arsyah,

2021). Asimismo, la pandemia COVID-19 ha propiciado que los consumidores procuren obtener un vínculo de relaciones a largo plazo con las empresas, en este sentido, las variables del CRM (gestión del conocimiento, orientación al cliente y tecnología del CRM) tienen una influencia positiva en lograr relaciones a largo plazo con los clientes y en la capacidad de innovar de la organización (Chi, 2021).

Para Sobral *et al.*, (2023) el CRM es una estrategia empresarial centrada en la satisfacción de los clientes, por ende, la mayoría de los estudios para la incorporación del CRM tienen su aplicación en empresas de servicios. Por su parte, Salah *et al.*, (2021) para retener y atraer nuevos consumidores, la eficiencia y eficacia de la aplicación de esta variable incide en la satisfacción, así como en la competitividad, creación de valor y rentabilidad de la estrategia en las pequeñas empresas. La tecnología en el CRM añade a las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) como una herramienta para la gestión y procesamiento inteligente de la información (Harrigan *et al.*, 2020; Garrido, 2008).

Asociado a lo anterior, Al *et al.*, (2021) mediante su estudio a través de ecuaciones estructurales de mínimos cuadrados parciales, encontraron que la estrategia CRM a través del enfoque centrado en el cliente, la tecnología y gestión del conocimiento tienen un impacto positivo en la calidad del servicio en las empresas analizadas. Asimismo, la investigación de Chi (2021) realizada a empresas en Vietnam obtuvieron que la orientación al cliente, gestión del conocimiento y el CRM basado en tecnología tiene una influencia positiva a largo plazo con los clientes.

Por lo que, las características de la aplicación del proceso CRM en la MIPYME permite que el conjunto de iniciativas implementadas en

los negocios logre la creación de una relación sostenible con el cliente, convirtiéndose en el centro de obtención y maximización del número de usuarios leales (Williams *et al.*, 2017). En el caso particular de las empresas de serigrafía y bordado, la Cámara Nacional de la Industria de Artes Gráficas en México (CANAGRAF) destaca que, la pandemia COVID-19 fue un componente de cambio en el modelo de trabajo, derivando un desconcierto al inicio de la contingencia sanitaria, en donde las organizaciones se vieron forzadas a evolucionar el proceso de venta, haciendo uso de herramientas tecnológicas para mantener comunicación con los consumidores (CANAGRAF, 2020). La mayoría de las empresas de este subsector son MIPYMES con una administración familiar, en donde las habilidades gerenciales y los procesos son aprendidos en su mayoría de forma empírica, ocasionando que la entrega del servicio y la gestión de las relaciones con los clientes se realicen en muchas ocasiones sin ningún control de calidad y medición (Sandoval, 2018). El intercambio de las solicitudes del usuario en la creación del producto final, indican la necesidad de la aplicación del proceso CRM de acuerdo con los recursos disponibles, permitiendo lograr una relación a largo plazo con su mercado meta.

Además, con la intensa competencia y retos del actual entorno de las MIPYMES, que es lugar donde se encuentran las empresas de serigrafía y bordado de la presente investigación, la aplicación del CRM se convierte en una estrategia valiosa, para combinar la interacción y cercanía que tienen los negocios con los consumidores y el canal brindado por las herramientas digitales, con la finalidad de aplicar la orientación al cliente, gestión del conocimiento auxiliados de los recursos tecnológicos indispensables para la operación (Siarhei & Moutaz, 2021). La falta de especialización en servicio al cliente y ausencia de procesos de calidad en las

empresas de serigrafía y bordado, ocasiona que muchas de estas organizaciones no logren consolidarse y no cuenten con mecanismos para hacer cambios y adaptarse a tiempo a las nuevas tendencias, causando el cierre de los negocios (Sandoval, 2018). El fenómeno de la pandemia COVID-19 ha propiciado que los consumidores se vuelvan más exigentes y selectivos en la decisión de compra, demandan mayor compromiso de las organizaciones en atención a las nuevas necesidades sanitarias, permitiendo transformar su formato tradicional de operación, venta y comunicación con los usuarios (Ortega-Vivanco, 2020).

Cabe destacar que el CRM se ha convertido en un proceso de innovación en las pequeñas y medianas empresas, impulsando la gestión social de las relaciones con los clientes, promueve la democracia de la información, generando la participación de los consumidores y la creación de valor conjunta (Siarhei & Moutaz, 2021). De esta manera, en la presente investigación se analiza el efecto de los resultados (ventas, rentabilidad del servicio, reducción de costos, cuota de mercado, satisfacción y confianza del consumidor) en la implementación del CRM en las organizaciones de serigrafía y bordado de la ciudad de Tijuana, asociados a las variables (orientación al cliente; gestión del conocimiento; tecnología; variables organizativas), con base en la opinión de los administradores de la empresa. De acuerdo con información disponible en el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) publicado en el portal de Internet del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), actualmente existen 30 imprentas en operación con actividad de confección, bordado y deshilado de productos textiles en la ciudad, las cuales se encuentran en el rango de micro y pequeñas empresas (DENUE, 2020). Por lo tanto, es relevante conocer el efecto de la estrategia CRM en la mejora del desempeño

y resultados de la organización, que pueda servir de representación para los negocios que se encuentran en este giro comercial, de manera que motive la incorporación del CRM como parte del proyecto corporativo, permitiendo mantener su cartera de clientes por el mayor tiempo posible y estos mismos se conviertan en los primeros medios de comunicación para atraer a nuevos consumidores del servicio.

El estudio que se presenta mediante el artículo, se revisa literatura en relación al servicio al cliente y entrega de valor en empresas de servicios, seguido del concepto de CRM y variables que integran la estrategia, así como su importancia de aplicación en las MIPYMES. En la fase de obtención de datos primarios, se aplicó una encuesta, con el propósito de conocer el nivel de aplicación de la estrategia CRM y el resultado percibido por los administradores de las 30 empresas con la actividad de serigrafía, confección, bordado y deshilado de productos textiles en la ciudad de Tijuana, Baja California (DENUE, 2020).

El servicio y la entrega de la propuesta de valor al cliente

Mejorar la experiencia del servicio al cliente es uno de los grandes retos que requiere de constante actualización en las empresas (Sobral *et al.*, 2023). Con respecto, a mantener la operación del negocio durante la pandemia COVID-19 se debió al fortalecimiento de las relaciones con el consumidor y las capacidades del servicio al cliente que brindaron las organizaciones (Sutherland *et al.*, 2020). Por su formato de inmaterialidad, los servicios necesitan ser evaluados durante el intercambio entre el cliente y el ofertante (Grönroos, 1994), en la figura 1 se presenta la relación de la calidad esperada con la calidad recibida. En la primera intervienen tácticas de comunicación de marketing, imagen, la comunicación de boca en boca, y todas las acciones que

generan las expectativas. Para la definición del nivel de calidad recibida, es necesario saber ¿qué? y ¿cómo?, se obtiene este resultado. Por tal motivo, en las

organizaciones en especial las de servicios es fundamental incluir el componente de entrega de valor al cliente (Zavala-Choez & Vélez-Moreira, 2020).

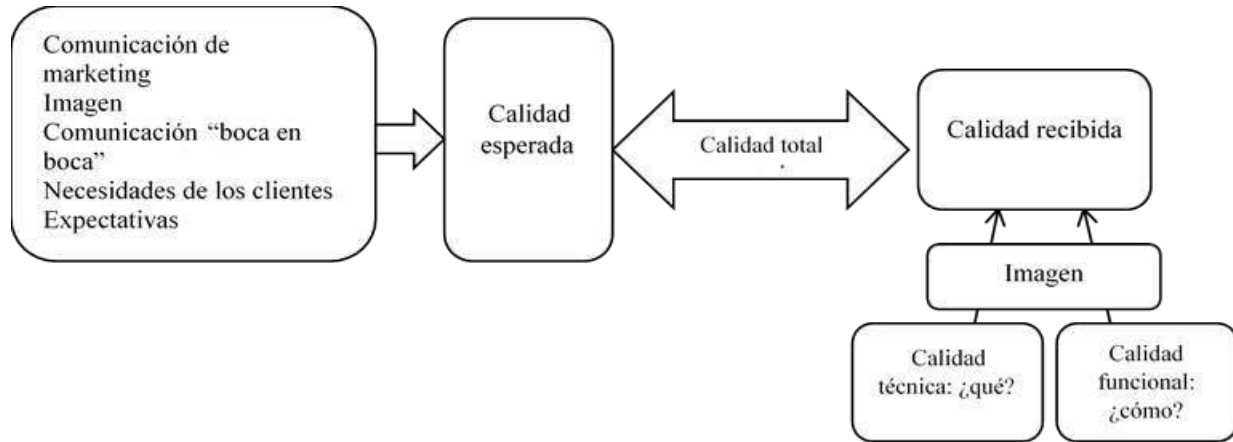


Figura 1. La calidad total captada del servicio.

Fuente: elaboración propia a partir de Grönroos (1994, p. 59).

Enfatizando que, el consumidor será motivado con la intención de compartir su experiencia de compra, en el momento en que reconoce la calidad del producto y el valor en la entrega del servicio (Márquez-Peñaloza *et al.*, 2021). Por lo general, los clientes tienen algunas expectativas antes de recibir el producto (Cruz-Estrada, 2018), si este cumple con satisfacer tales exigencias se creará un valor percibido en función de su satisfacción, de esta manera se genera el sentimiento de

lealtad en el individuo hacia la compañía (Jahmani *et al.*, 2020; Mahmood *et al.*, 2018). En la figura 2, se presenta un modelo, en el que se muestra la importancia del resultado que se obtienen mediante el trabajo de la orientación al cliente y gestión de relaciones con el mercado meta, para el fortalecimiento de las decisiones estratégicas, esto conduce al logro de beneficio en el costo de adquisición y tasa de retención de los consumidores.

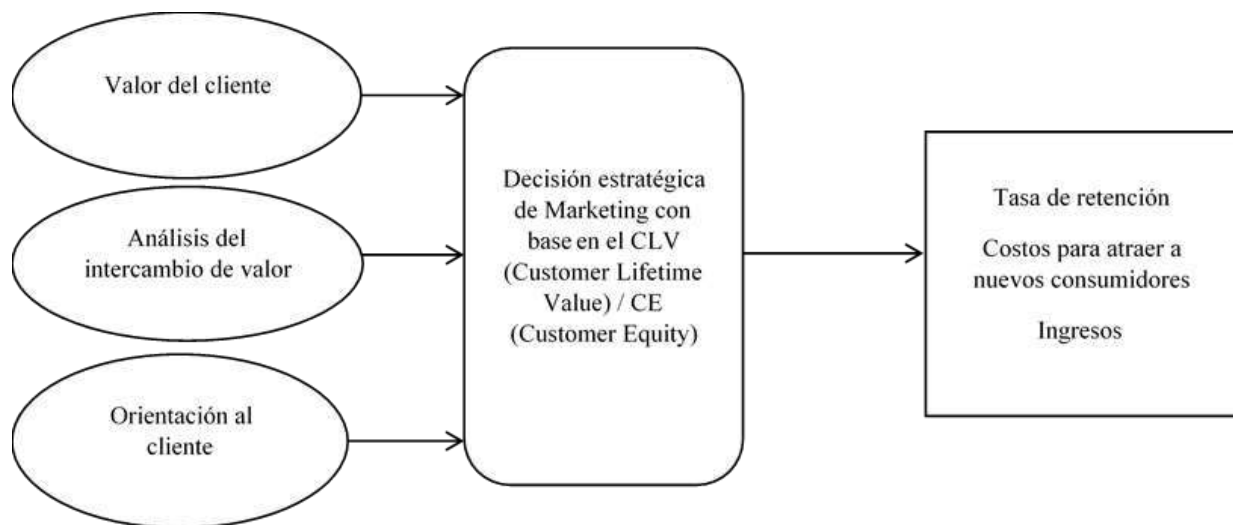


Figura 2. Orientación hacia el valor del cliente y decisiones estratégicas.

Fuente: elaboración propia a partir de Valenzuela & Torres (2008, p. 70) y Valenzuela & Martínez (2015, p. 341).

La gestión de relaciones con el cliente (CRM) en las organizaciones.

El entorno actual del mercado derivado de la pandemia COVID-19, exige a las empresas cambios drásticos en los mecanismos y canales de comunicación, para atender las nuevas necesidades de los consumidores. Esto implica que las organizaciones establezcan estrategias para gestionar las relaciones comerciales con sus clientes, tomando en consideración que tiene mayor rentabilidad la inversión en conservar los clientes actuales, en comparación de atraer a nuevos usuarios (Morgan & Hunt, 1994; Chi, 2021). Asimismo, la mercadotecnia relacional, tiene como principal objetivo construir relaciones satisfactorias con los consumidores, para mantener este vínculo en el largo plazo (Berry, 1995), los cuales se conviertan en los principales portadores y canal de comunicación de la compañía hacia otros usuarios interesados en solventar las mismas necesidades (De La Hoz-Granadillo *et al.*, 2017).

La estrategia CRM se distingue por el establecimiento y logro de relaciones de valor

con los consumidores, su aplicación es más presente en empresas de servicios en donde existe un intercambio de comunicación frecuente con el usuario (Cruz-Estrada, 2018). Por lo que, el CRM necesita de orientación al cliente, gestión del conocimiento, tecnología y variables organizativas como componentes principales para lograr un proceso exitoso, con la finalidad de conseguir mejorar la personalización y efectividad de la oferta, de esta manera satisfacer las expectativas del usuario y conseguir su confianza por el mayor tiempo posible (Alqershi *et al.*, 2020; Garrido, 2008). Los elementos que componen este proceso estratégico se presentan en la figura 3, donde se involucran cuatro variables principales: orientación al cliente, la gestión del conocimiento, así como las variables organizativas y la tecnología, tienen un impacto directo para el alcance de los efectos esperados. En el caso de las empresas de confección, bordado y deshilado de productos textiles el CRM es importante, ya que la creación del producto final requiere del entendimiento y comprensión de las necesidades anticipadas del cliente.



Figura 3. Variables que contribuyen a los resultados de la estrategia CRM.

Fuente: elaboración propia a partir de Garrido (2008, p. 164) y Alqershi *et al.* (2020, p. 5).

Las variables organizativas se presentan en la estructura, procesos y estrategias coordinadas desde la dirección del negocio; la tecnología actúa como facilitador de la implementación de las iniciativas estratégicas; en cuanto la gestión del conocimiento es el principal

subproceso de una estrategia de CRM para su aplicación por los actores clave encargados de su implementación, con respecto a la orientación al cliente esta variable se enfoca en la directriz del mercado que implica conocer a sus clientes (Garrido, 2008). Al

emplear con eficiencia las variables de la estrategia del CRM presentadas en la figura 3, la organización podrá acertar con mayor probabilidad el comportamiento de los consumidores mediante interacciones efectivas, que tienen como propósito atraer, retener y crear lealtad en el cliente (Alqershi *et al.*, 2020). De esta manera, lo anterior puede conducir a un análisis, identificando los elementos más débiles y susceptibles de mejora, que afiancen los factores claves de éxito del CRM mediante la filosofía centrada en el cliente (De La Hoz-Granadillo *et al.*, 2017).

Con respecto a obtener resultados eficientes de la estrategia del CRM, para Valenzuela & Torres (2008), Valenzuela & Martínez (2015) coinciden en la importancia de la orientación al cliente y gestión del conocimiento, siendo elementos claves para la decisión estratégica de marketing del proceso, teniendo impacto en la tasa de retención, costos de adquisición de nuevos consumidores e ingresos para la empresa. Así mismo Morgan & Hunt (1994), Chi (2021), Mutiana & Ulya (2021) matizan sobre el desarrollo de la estrategia CRM basada en la orientación al cliente para lograr mayor rentabilidad sobre la oferta de la organización y conservar los clientes actuales, los cuales se convierten en el primer canal de comunicación con el mercado meta. Esto resulta fundamental, ya que la mercadotecnia relacional, tiene entre sus principales metas construir relaciones satisfactorias, en donde la creación de valor fomenta un vínculo a largo plazo con el mercado al que se dirige (Berry, 1995; Orengo-Serra & Sánchez-Jauregui, 2021).

Particularmente en la MIPYME, el desarrollo del CRM se convierte en un componente fundamental en el funcionamiento del negocio, por la estrecha y directa relación que mantienen con los usuarios (Alqershi *et al.*, 2020), la inversión en tecnología debe realizarse considerando las necesidades

detectadas y recursos de las empresas, que le permitan hacer más eficiente la operación del negocio y mejorar los resultados de la compañía (Chi, 2021; Agnihotri *et al.*, 2017). La orientación al cliente y la gestión del conocimiento en las MIPYMES, se pueden abastecer de datos que se generan durante la interacción con los usuarios, creando productos y servicios adecuados con base en las necesidades del mercado (Orengo-Serra & Sánchez-Jauregui, 2021). Así mismo, el ordenamiento de los canales de comunicación que inciden en las decisiones estratégicas de las empresas para lograr proceso eficiente y comprometido contribuye para crear confianza y seguridad en los consumidores para realizar sus compras (Mutiana & Ulya, 2021). De esta manera, la propuesta de valor, el rediseño de productos y servicios, así como la capitalización de oportunidades del mercado apoyada del CRM, le pueden permitir a las MIPYMES ser más resilientes al mismo tiempo que refuerzan la comunicación con los clientes (Orengo-Serra & Sánchez-Jauregui, 2021).

Dentro del contexto organizacional y en especial en las MIPYMES que es donde se encuentran la mayoría de las empresas de serigrafía y bordado (Sandoval, 2018), la gerencia del negocio tiene un papel importante en el proceso de adopción del CRM, siendo que son los que deciden el nivel de inversión de la estrategia (Salah *et al.*, 2021). Esto conduce al impulso en la adopción de la orientación al cliente, la gestión del conocimiento y adquisición de herramientas tecnológicas para facilitar la adquisición y gestión de la información de los clientes (Mutiana & Ulya, 2021; Cruz-Estrada, 2018), con el propósito de obtener la satisfacción de los consumidores, los cuales se conviertan en el primer canal de comunicación con los futuros clientes (Pratiwi & Arsyah, 2021). El trabajo en el mediano y largo plazo en las variables que conforman el CRM tendrá un efecto positivo

en las ventas y satisfacción, motivando a la recomendación de los productos y servicios a causa de la experiencia y valor percibido por los consumidores (Cruz-Estrada, 2018; Berry, 1995; Siarhei & Moutaz, 2021).

De esta manera, la hipótesis a partir de la literatura revisada tanto en relación de las variables que conforman la estrategia CRM, así como su importancia en los resultados organizacionales percibidos y la entrega de valor se presenta de la siguiente manera: H1: en las empresas de serigrafía y bordado de la ciudad de Tijuana, la orientación al cliente, gestión del conocimiento, variables organizativas y tecnología, tienen una correlación positiva en los resultados de la estrategia CRM que corresponde para el caso estudiado en el crecimiento de ventas, reducción de costos, rentabilidad del negocio, incremento en la cuota de mercado, mejora de la confianza y satisfacción de los usuarios. Cabe destacar que, estas variables tienen su fundamento en el modelo de (Garrido, 2008), orientado a empresas de servicios, coincidiendo con la mayoría de los estudios empíricos incorporados a la literatura del artículo. La presente investigación se refiere a un subsector de manufactura, con la característica de establecer contacto frecuente con los usuarios atendiendo sus peticiones como parte del servicio de atención al consumidor, para lograr un producto con base en las necesidades del cliente, las variables orientación al cliente, la gestión del conocimiento, el impulso de la gerencia en las variables organizativas y la tecnología, son fundamentales para los resultados del caso analizado.

Aunado a lo anterior, en la investigación cuantitativa de Spencer *et al.*, (2009) la orientación al cliente, así como el desarrollo de productos personalizados vinculados a las necesidades del consumidor, se relaciona con el desempeño de la organización. Así, la estrategia de diferenciación que se busca

mediante la estrategia CRM requiere del involucramiento de los directivos del negocio para dar seguimiento, esperando la madurez del proceso (Spencer *et al.*, 2009; Salah *et al.*, 2021). Por su parte, la tecnología es un aliado importante para gestionar con mayor eficiencia la información recolectada de los clientes, de la misma manera la gestión del conocimiento entre los colaboradores de la empresa, debe ser parte del proceso para garantizar la calidad del servicio (Al *et al.*, 2021; Valenzuela & Martínez, 2015). Estos hallazgos son un punto de referencia para el caso de las empresas de serigrafía y bordado de la ciudad de Tijuana, donde se plantea que la orientación al cliente, gestión del conocimiento, tecnología y las variables organizacionales motivadas por el liderazgo en la empresa, tienen correlación con los resultados de las unidades analizadas.

Materiales y Equipos.

En este caso de estudio, para el análisis de los datos se utilizó el software estadístico SPSS 22 y Excel. En cuanto a la aplicación del instrumento online se usó la herramienta de Google Forms.

Métodos

Tipo de investigación

La investigación que se presenta mediante el artículo tiene un diseño no experimental (Hernández *et al.*, 2014), con base en las situaciones presentes en el caso de las empresas de serigrafía y bordado de la ciudad de Tijuana, Baja California, en la aplicación de la gestión de relaciones con el cliente. El estudio es transeccional, utilizando el método cuantitativo empleando la técnica de encuesta para la recolección de los datos a través del censo de las 30 unidades de estudio de serigrafía y bordados de Tijuana. Asimismo, se llevó a cabo una exploración de literatura para la determinación de las dimensiones e ítems de la encuesta. Además, se sometió a revisión de cinco expertos en marketing

relacional para validar las dimensiones en donde las observaciones se enfocaron en la modificación de algunos ítems, así como la redacción para la mejor comprensión de la información solicitada, en este sentido, también se recabó información de la experiencia del experto en el uso del CRM. Con los hallazgos presentados mediante el instrumento aplicado, con el propósito de describir el comportamiento de las variables del CRM en las empresas: Orientación al cliente; Gestión del conocimiento; Variables organizativas y la Tecnología, así como el efecto de la estrategia CRM en las empresas de serigrafía, confección, bordado y deshilado de productos textiles de Tijuana.

Participantes en la investigación

La encuesta utilizada en la investigación se aplicó a dueños y representantes de 30

empresas de serigrafía y bordado actualmente activas, las cuales aparecen en el listado del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas, instaladas en la ciudad de Tijuana, Baja California, México (DENUE, 2020). En cuanto a las personas que dieron respuesta al instrumento, 20 son dueños de las organizaciones y 10 tienen el cargo de gerente, los principales productos y servicios que se ofertan en los negocios son serigrafía y bordado, seguido de impresiones en diferentes materiales. El número de empleados reportados por las personas que respondieron al instrumento, permite precisar que 17 de las compañías están en la categoría de micro empresa y 13 en la categoría de pequeñas empresas, asimismo, la antigüedad oscila entre 5 y 18 años a partir del trabajo de campo realizado en 2020, esta información se detalla en la tabla 1.

Tabla 1. Número de empleados y antigüedad de la empresa.

Antigüedad de la empresa en años	Número de empleados					
	16	15	13	11	9	6
18	1					
16			1			
15				1		
11		1		2		1
10					3	1
9		1	1		2	1
8	1	2		2		
7					2	3
6					2	1
5					1	
SUMA	2	4	2	5	10	7

Fuente: elaboración propia.

Instrumento aplicado

El instrumento de recolección se compone de siete dimensiones, tomando como base el trabajo de Garrido (2008) aplicado en empresas de servicios con algunos ajustes en los ítems de la encuesta propuestas por cinco expertos: 1) medios empleados en las organizaciones para la aplicación de la gestión de relaciones con el cliente: Se obtiene información de las aplicaciones con la que se gestiona la información, compuesto

por cinco ítems; 2) Orientación al cliente: Se revisa la implementación de esta variable con los usuarios del servicio, se incluyen siete ítems; 3) Gestión del conocimiento: Se obtiene la información del nivel de trabajo de la empresa, para trasladar el conocimiento entre sus colaboradores, compuesto por once ítems; 4) Variables organizativas que impulsan a la estrategia CRM: Se pregunta sobre los recursos, formación y facilidades que permitan el éxito de la gestión de relaciones con el cliente, se incluyen diez

ítems; 5) Tecnología: Se obtiene la capacidad tecnológica con la que cuenta el negocio, compuesto por seis ítems; 6) Resultados del proceso CRM: resultados de la estrategia de acuerdo al servicio, satisfacción del cliente y competitividad de las empresas, se incluyen siete ítems; 7) Característica de la empresa: tamaño de la empresa, número de empleados y principales productos y servicios que comercializan, compuesto por ocho ítems. Cabe destacar que, en la revisión de la literatura se indagaron sobre las variables que inciden en el CRM señaladas por Garrido (2008), con el propósito de comparar el trabajo de otros autores acerca de aplicación y componentes de la estrategia CRM.

Cabe destacar, que la investigación de Garrido (2008) se realizó en empresas de servicios, en donde la aplicación del CRM resultó ser un proceso clave, para obtener resultados positivos en la percepción del servicio, satisfacción del consumidor y competitividad. La aportación en la presente investigación destaca que, siendo un subsector de manufactura, conformado por micro y pequeñas empresas, la aplicación del CRM tiene su aplicación en la estrecha relación que tienen los negocios con el cliente. De tal manera, que aspectos como la satisfacción y la confianza del usuario, dependen de esta estrecha relación, que permitan mantener la operación de los negocios en épocas de crisis.

Procedimiento de aplicación

Para la aplicación de la encuesta, se revisó en el mes de junio de 2020 la información y ubicación de las empresas de serigrafía y

bordado registradas y en operación (DENUE, 2020), situadas en la ciudad Tijuana. Debido a las dificultades ocasionadas por la pandemia COVID-19 durante 2020, se decidió hacer una agenda de acuerdo con la disponibilidad de los representantes de las 30 organizaciones. De esta manera, la aplicación de la encuesta se realizó durante los meses de agosto, septiembre y octubre de 2020 mediante videollamada.

Revisión de confiabilidad del instrumento aplicado

Para el análisis de confiabilidad, se consideraron las principales dimensiones de la encuesta, en las cuales se utiliza la escala de Likert de cinco puntos para la medición de los siguientes elementos: (*orientación al cliente; gestión del conocimiento; variables organizativas; tecnología; resultados del proceso CRM*). Se realizó la prueba estadística *alfa cronbach* con el software estadístico *SPSS 20*, en la dimensión de orientación al cliente se encontró un coeficiente de 0.738, la sección de gestión del conocimiento obtuvo un estadístico de 0.658, en la dimensión de variables organizativas se logró un valor de 0.758, en la dimensión de tecnología un estadístico de 0.652 y en la sección de resultados del CRM un valor de 0.857 (véase tabla 2). De acuerdo a Hinton *et al.*, (2014) al obtener valores por encima de 0.7 se tiene consistencia interna confiable. Pero (Celina & Campo, 2005; Hernández *et al.*, 2014) la confiabilidad mayor a 0.5 se considera aceptable. En este sentido, se considera aceptable el nivel de confiabilidad de las cinco dimensiones.

Tabla 2. Resultados de confiabilidad de la encuesta aplicada

Coeficiente alfa de cronbach*				
Orientación al cliente	Gestión del conocimiento	Variables organizativas	Tecnología	Resultados del CRM
No. de elementos	No. de elementos	No. de elementos	No. de elementos	No. de elementos
7	11	10	6	7
0.738	0.658	0.758	0.652	0.857

Fuente: elaboración propia a partir de resultados obtenidos mediante el software estadístico SPSS 20.

En la presente investigación se dividió los resultados en dos partes: en la primera sección se realizó un análisis descriptivo y en la segunda se llevó a cabo un análisis de regresión lineal múltiple, para ello, se utilizó el software estadístico SPSS 22 y Excel.

Resultados y discusión

Con respecto a la parte uno de los resultados, se obtuvo: las organizaciones que formaron parte del estudio fueron micro y pequeñas empresas, se caracterizan por ofrecer servicios de serigrafía y bordado, además de impresión en diversos materiales. Empleando una escala de likert de cinco puntos, en la figura 4 se muestra la aplicación de la orientación al cliente en las empresas, el elemento que más se lleva a cabo es ofrecer la

personalización de productos y servicios (4.93), procuran que las políticas del negocio se orienten hacia la satisfacción de los clientes (4.8), también se destaca el desarrollo de la comprensión de las necesidades de los usuarios como una ventaja competitiva (4.57). Esta actitud e iniciativa de las empresas coincide con lo expuesto por Harrigan *et al.*, (2020), Algershi *et al.*, (2020) y Garrido (2008), siendo que la estrategia CRM tiene su base en el establecimiento y logro de las relaciones de valor con los consumidores, para lograrlo es indispensable obtener mayor conocimiento de los consumidores, con el propósito de mejorar la personalización de los productos y servicios que se ofertan, permitiendo al mismo tiempo satisfacer las expectativas de los usuarios y conseguir su confianza.

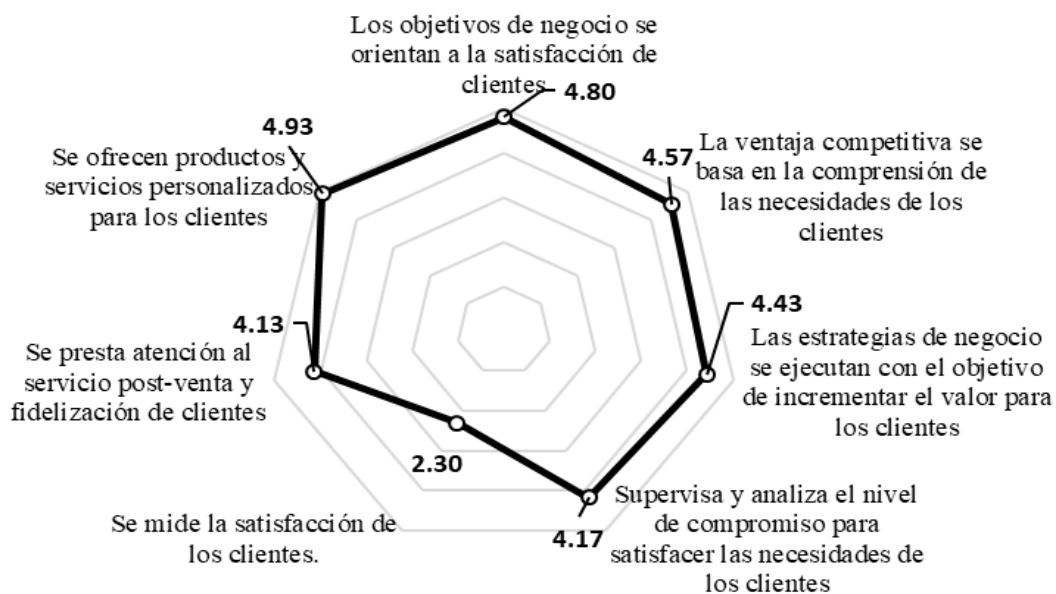


Figura 4. Aplicación de la orientación al cliente en las empresas.

Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos en la evaluación de la gestión del conocimiento (figura 5) en las empresas de serigrafía y bordado, con base en la escala de likert se destaca la promoción del conocimiento entre los empleados (4.63), con este mismo promedio se lleva a cabo la aplicación de una cultura organizativa para estimular la adquisición y transmisión de

conocimiento entre los colaboradores. También resulta importante en las organizaciones, proporcionar canales que permiten que se produzca una comunicación bidireccional con los principales clientes (4.4). Las áreas de oportunidad reconocidas, es el bajo promedio en el establecimiento de procesos para el desarrollo de nuevos

productos y servicios (2.7), así como la disposición de un programa que permita el análisis de la competencia (2.1). La detección de oportunidades analizadas en el entorno en el que se desarrollan las organizaciones, son

necesarias para innovar y reconfigurar los errores en los procesos tradicionales (Pedron *et al.*, 2018), teniendo como perspectiva la información obtenida de lo que hacen otras empresas.



Figura 5. Aplicación de la gestión del conocimiento en las empresas.

Fuente: elaboración propia.

En relación al impulso por parte de las variables organizativas para el desarrollo de la estrategia CRM (figura 6), el elemento más adoptado en escala del 1 al 5 por las empresas de serigrafía y bordado es la existencia de una comunicación abierta y bilateral entre las distintas áreas y departamentos (4.5), esto es fundamental para coincidir en las metas del CRM entre todos los participantes. Las

organizaciones procuran incentivar a los empleados, para el cumplimiento de los objetivos de la gestión de relaciones con el cliente (4.33), asimismo permiten que la estructura de la compañía esté configurada en un enfoque centrado en los clientes (4.3). Todos los ítems incluidos en esta dimensión tienen estimaciones por encima del valor promedio de 2.5.



Figura 6. Variables organizativas que impulsan al CRM.

Fuente: elaboración propia.

La tecnología disponible para la implementación de la estrategia CRM en las organizaciones corresponde al área con mayor oportunidad de mejora (Figura 7), con especial atención en la capacidad de concentrar toda la información de los clientes en una base de datos, completa y actualizada

(2.07), esto al mismo tiempo afecta a la disposición de información individualizada sobre cada cliente para su aprovechamiento (2.23), de esta manera es necesario mejorar la integración de los sistemas de información, que permita examinar datos en las distintas áreas funcionales (2.8).

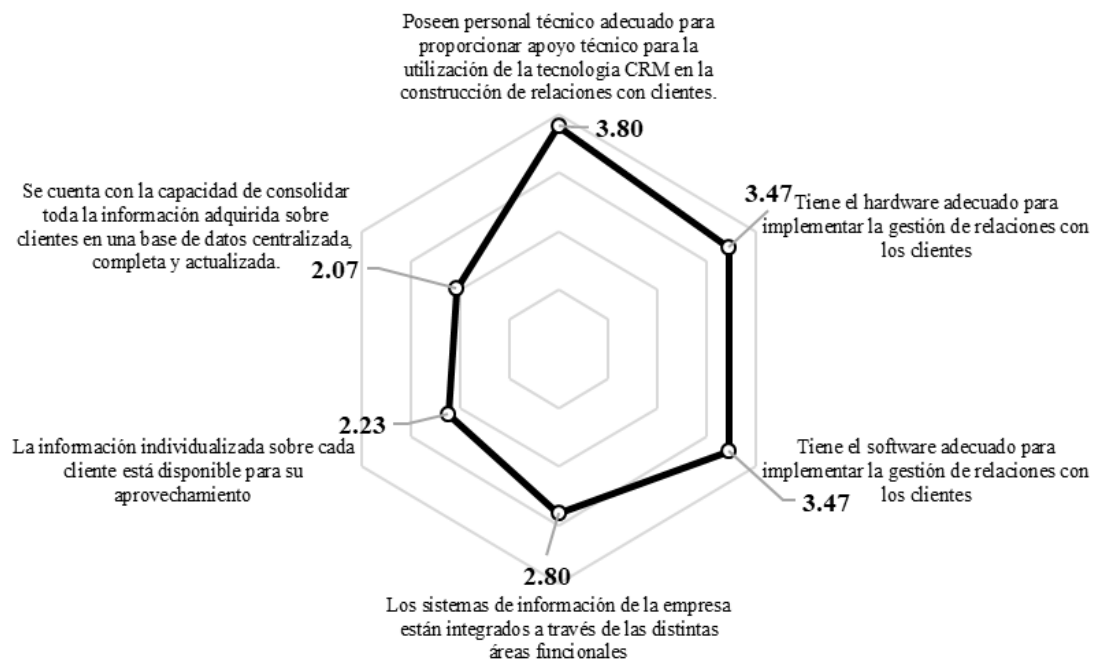


Figura 7. Tecnología para la implementación del CRM.

Fuente: elaboración propia.

Los resultados presentados en la figura 8 concentra el promedio de las dimensiones descritas, destacando que las empresas tienen la disposición de implementar con mayor seguimiento la variable de orientación al cliente y el impulso de las variables organizativas para alcanzar las metas de la gestión de relaciones con el cliente. Las áreas

de oportunidad tienen que ver con su estructura de micro y pequeñas empresas, para hacerse de recursos e invertir en tecnología, asimismo, la gestión del conocimiento requiere de capacitación y del seguimiento de procesos establecidos para mejorar la competitividad de las organizaciones.

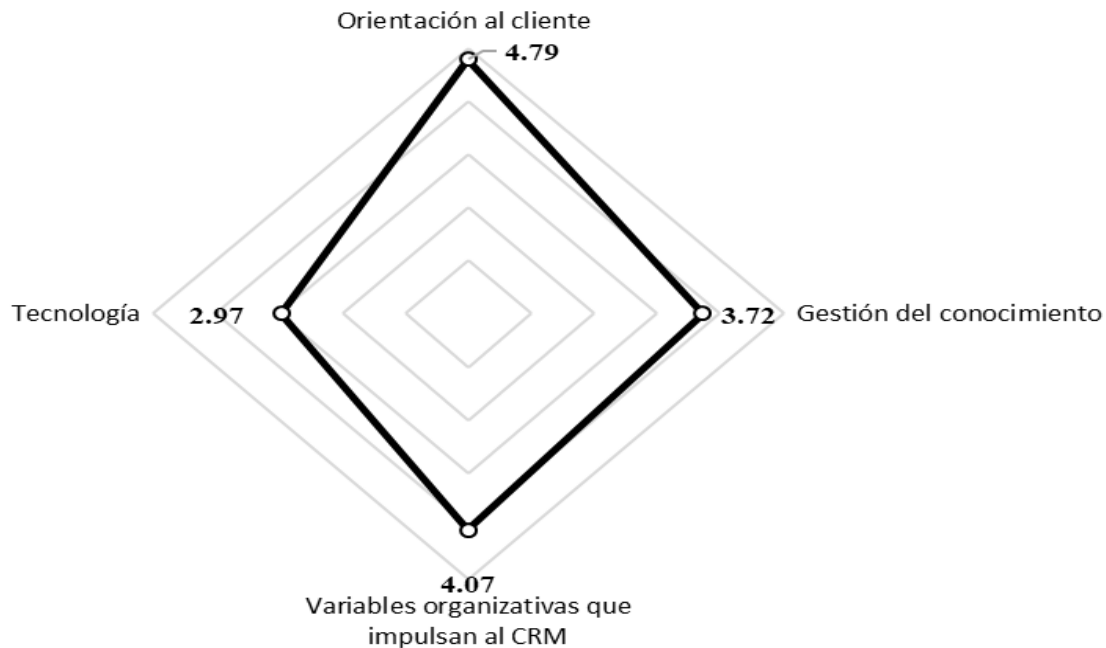


Figura 8. Índice promedio de la aplicación del CRM en las empresas.

Fuente: elaboración propia.

La orientación al cliente tiene efecto en la calidad del producto y el valor en la entrega del servicio, esto se convierte en un elemento de motivación de los consumidores para recomendar a la empresa, estas experiencias serán comunicadas con su grupo social en la vida cotidiana, lo que atraerá a más consumidores, los cuales desearán obtener una similar experiencia (Márquez-Peñaloza *et al.*, 2021). Las organizaciones de serigrafía y bordado de Tijuana, tienen en la orientación al cliente el componente que más se destaca en la estrategia CRM, el cual es fundamental para éxito del proceso. La personalización del producto es una de las ventajas competitivas que declaran realizar las empresas de serigrafía y bordado de Tijuana, este es un

concepto clave del CRM el cual tiene un impacto beneficio en la dirección de las preferencias de los consumidores (Garrido, 2008; Berry, 1995).

Además, el impulso desde el interior de la compañía a través de las variables organizativas es otro elemento que favorece el desarrollo de la estrategia, para incentivar a los empleados hacia los resultados esperados en el mediano y largo plazo, haciéndolos partícipes del éxito a los colaboradores del negocio. La aportación de todos los trabajadores debe destacarse y recompensar su interés para lograr el éxito de las metas del negocio. Esto promueve la innovación y desarrollo de nuevos productos,

para atender las áreas de oportunidad y carencias descubiertas por los colaboradores dentro de los procesos tradicionales de la compañía (Pedron *et al.*, 2018).

La gestión del conocimiento en las empresas de serigrafía y bordado no tiene una evaluación similar comparada con los niveles de la variable orientación al cliente, pero se mantiene por encima del promedio. La falta de procesos formales y disponibilidad inmediata de información de la competencia y de los consumidores, para transformarla y comunicarla en tiempo a los colaboradores puede derivar una reacción fuera de tiempo o acciones equivocadas, teniendo efectos negativos en la satisfacción de los usuarios. Este elemento es importante para lograr un orden consecutivo, lógico y organizado para trasladar y aplicar el conocimiento de manera efectiva y eficiente (Pratiwi & Arsyah, 2021), atendiendo a tiempo las áreas de oportunidad de acuerdo con las necesidades de los beneficiarios, con el objetivo de mantener la calidad del servicio y producto (Chi, 2021; Garrido, 2008).

En relación con el componente de tecnología, es el área con mayor oportunidad en las empresas de serigrafía y bordado de Tijuana. Es imprescindible contar con los recursos básicos de hardware y software para la gestión, análisis y aprovechamiento de la información, que permita transformarla en

indicadores de evaluación que apoyen las decisiones del negocio (Harrigan *et al.*, 2020; Garrido, 2008). La selección de las herramientas y tecnologías deben adaptarse a las necesidades reales de la compañía (Agnihotri *et al.*, 2017; Chi, 2021), la inversión tiene que ser pensando en los requerimientos de gestión y procesamiento de los datos, así como los beneficios a entregar a los clientes.

Los resultados obtenidos mediante la gestión de relaciones con el cliente (véase figura 9), de acuerdo a las valoraciones de los representantes de las empresas de serigrafía y bordado con base en la escala de likert empleada en las figuras anteriores se refleja más en las ventas (4.8), seguido de rentabilidad del servicio y la satisfacción de los consumidores (4.77), también se percibe el aumento de confianza de los usuarios hacia la compañía (4.73). Los elementos con menor apreciación en los resultados percibidos son, la reducción de costos en la operación del negocio y aumento de la participación en el mercado. Cabe destacar que, es una estrategia de largo plazo donde todas las variables (orientación al cliente; gestión del conocimiento; tecnología; variables organizativas) deben lograr su nivel de maduración en el largo plazo (Alqershi *et al.*, 2020), además de corregir las áreas de oportunidad y adaptarse a las tendencias del mercado (Harrigan *et al.*, 2020).

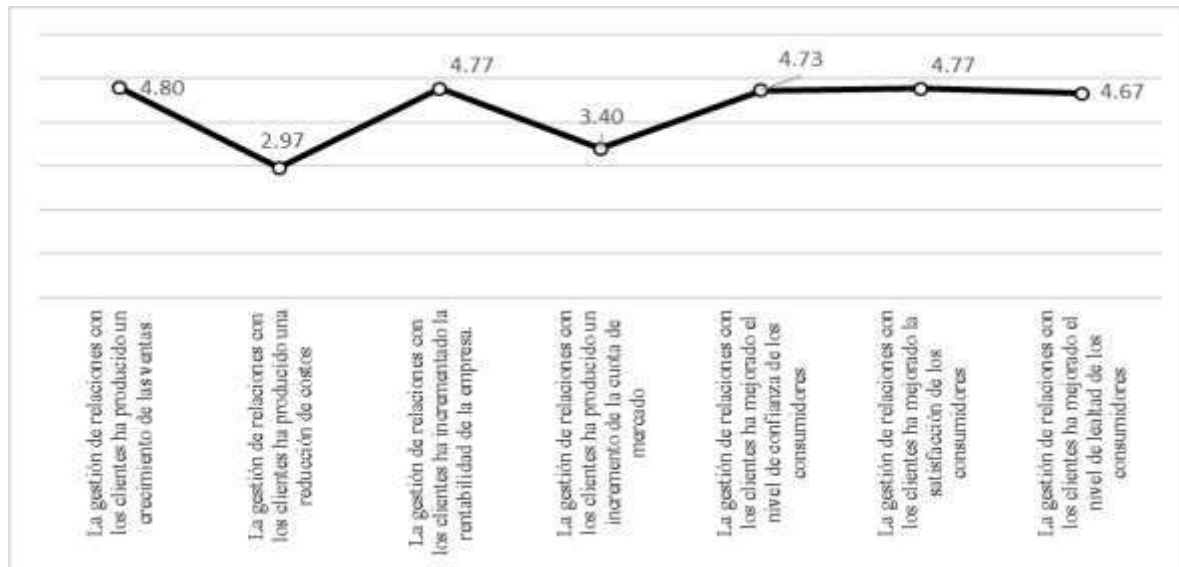


Figura 9. Índice promedio de la aplicación del CRM en las empresas.

Fuente: elaboración propia.

En la segunda parte de los resultados, mediante un análisis de regresión múltiple (véase tabla 3) entre las variables independientes: (orientación al cliente, tecnología, gestión del conocimiento, variables organizativas); con la variable dependiente (resultados del CRM), se obtiene una correlación media de 0.688, con respecto a su incidencia en los resultados de la gestión

de relaciones en las organizaciones. El estadístico 0.388 (R cuadrado corregida = 0.388) señala la proporción e importancia de estos elementos en los resultados del CRM (crecimiento de ventas, reducción de costos, rentabilidad del negocio, incremento en la cuota de mercado, mejora de la confianza y satisfacción de los usuarios, expuestos en la figura 9).

Tabla 3. Regresión múltiple.

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	0.688 ^a	0.473	0.388	2.61705

a. Variables predictoras: (Constante), orientación cliente, tecnología, gestión conocimiento, variables organizativas

Fuente: elaboración propia a partir de resultados obtenidos mediante el software SPSS 22.

Los hallazgos obtenidos mediante el análisis de regresión múltiple acerca de las variables asociadas a los resultados de la estrategia CRM, tiene coincidencias con los estudios de Al *et al.*, (2021), Spencer *et al.*, (2009) y Garrido (2008), siendo que los directivos de las empresas de serigrafía y bordado comunican beneficios económicos, así como en la construcción de un mejor servicio, que trae en consecuencia su percepción sobre la satisfacción de los usuarios. El desarrollo de la confianza, es un elemento fundamental

para incrementar la tasa de retención y los costos para atraer a nuevos consumidores e ingresos (Valenzuela & Martínez, 2015; Alqershi *et al.*, 2020). Esto es fundamental, para mantener la dinámica de la operación durante todo el año e incluso al momento de presentarse una crisis sanitaria o económica, siendo más resilientes en épocas de crisis.

En cuanto a la revisión del nivel de significancia de los resultados presentados en la tabla 4, mediante la prueba ANOVA en

donde se sometieron las variables independientes empleadas en el análisis de regresión múltiple (orientación al cliente, tecnología, gestión del conocimiento, variables organizativas); variable dependiente (resultados del CRM), se obtiene

un coeficiente con nivel de significancia de 0.002 que es menor al 0.01, lo que precisa la validez del proceso estadístico, indicando el total de la varianza explicada por las variables independientes.

Tabla 4. Nivel de significancia mediante la prueba ANOVA.

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	153.476	4	38.369	5.602	.002 ^b
	Residual	171.224	25	6.849		
	Total	324.700	29			
a. Variable dependiente: resultados_CRM						
b. Variables predictoras: (Constante), orientación cliente, tecnología, gestión conocimiento, variables organizativas.						

Fuente: elaboración propia a partir de resultados obtenidos mediante el software SPSS 22.

La correlación obtenida entre las variables independientes con la variable dependiente, conduce al fortalecimiento del concepto y valor del producto en la mente de los consumidores, los cuales tendrán la intención de seguir siendo atendidos en sus futuras compras en la empresa, así como recomendarla dentro de su círculo social, destacando los beneficios obtenidos lo que podrá atraer a nuevos clientes. Cabe destacar que, el CRM implica que las empresas continúen en su proceso de mejora continua,

que les permita satisfacer las necesidades de los usuarios y lograr su confianza por el mayor tiempo posible (Alqershi *et al.*, 2020). En este sentido, la correlación de la variable tecnología con los resultados del CRM es de 0.410, es una correlación media positiva con un nivel de significancia del 0.05, asimismo, variables organizativas es de 0.679, Gestión del conocimiento de 0.520 y orientación al cliente es de 0.469, estas últimas son correlaciones medias positiva con un nivel de significancia de 0.01 (véase tabla 5).

Tabla 5: Correlaciones.

Correlaciones		Resultados_CRM
Tecnología	Correlación de Pearson	,410*
	Sig. (bilateral)	.024
	N	30
Variables organizativas	Correlación de Pearson	,679**
	Sig. (bilateral)	.000
	N	30
Gestión conocimiento	Correlación de Pearson	,520**
	Sig. (bilateral)	.003
	N	30
Orientación cliente	Correlación de Pearson	,469**
	Sig. (bilateral)	.009
	N	30

**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas).

Fuente: elaboración propia a partir de resultados obtenidos mediante el software SPSS 22.

Conclusiones

Las variables para el funcionamiento del CRM que más se destaca en las empresas de serigrafía y bordado de Tijuana, es la orientación al cliente y las variables organizativas. Estos dos elementos son esenciales para la aplicación de la estrategia, el componente con mayor oportunidad de mejora es la tecnología. En el entorno competitivo actual es necesario contar con las herramientas tecnológicas básicas para la gestión de la información, que permita su procesamiento y creación de valor. Además, se requiere de la eficiente gestión de los datos, para conocer y atender las necesidades expuestas por los clientes, al mismo tiempo innovar los procesos, con la finalidad de adaptar a tiempo los constantes cambios y demandas del mercado en la compañía.

Con base en los resultados se puede concluir que la estrategia CRM (mediante la orientación al cliente, tecnología, gestión del conocimiento, variables organizativas) en opinión de los administradores de las empresas de serigrafía y bordado de la ciudad de Tijuana, tiene relación con los resultados que proporciona este proceso en ventas, rentabilidad del servicio, satisfacción y confianza del consumidor. El servicio y atención al cliente es muy importante para estas organizaciones y clave en la aplicación del CRM, ya que por su tamaño la mayoría de los colaboradores del negocio tienen un contacto directo con los usuarios, siendo una oportunidad para convertir al proceso parte esencial del negocio.

La implementación eficiente del CRM puede convertirse en una ventaja competitiva para el negocio. Esto destaca la importancia de este proceso, con el propósito de lograr la preferencia y lealtad de los consumidores, siempre previendo las expectativas sujetas hacia la organización. Este proceso incita a la

innovación, en donde las variables de orientación al cliente, el impulso desde las variables organizativas, gestión del conocimiento y tecnología tienen un papel fundamental en el alcance de las metas relacionadas con la estrategia. Siendo un subsector de manufactura al que se dirige la investigación, al mismo asocia la existencia de un servicio en la personalización del producto, que es fundamental para lograr la confianza y satisfacción de los consumidores por el mayor tiempo posible.

Cabe destacar que, en el proceso de transición para satisfacer las necesidades de los consumidores, incrementar la competitividad de la empresa, y conseguir que la estrategia CRM se convierta en una ventaja competitiva, es necesario procurar la creación y entrega de valor en el producto y servicio, cumpliendo con las necesidades y requerimiento de los usuarios, aprovechando el contacto frecuente que tienen las organizaciones incluidas en la investigación. Las empresas deben ocuparse en prever y anticiparse ante los nuevos retos previstos para el futuro. La pandemia COVID-19 descubrió la poca preparación a la que está expuesta la micro y pequeña empresa (como lo son las organizaciones de serigrafía y bordado que fueron parte del estudio) para mantener su operación en diferentes condiciones a las que estaban acostumbradas. La gestión de relaciones con el cliente hace posible tener cercanía con los consumidores, consiguiendo mantener la operación del negocio con mayor eficiencia basada en fortalecer un vínculo de confianza en el consumidor, además de destacarse como un proceso de mejora continua.

Por último, cabe destacar que pueden existir otras variables que influyan en los resultados de desempeño y competitividad de las organizaciones entre las cuales se pueden encontrar la ubicación del establecimiento,

infraestructura de la empresa, capacidad innovadora del producto, entre otros, estas pueden ser sujeto de estudio en una siguiente investigación, resolviendo los efectos de estas variables en la competitividad del negocio. Otra limitación del presente estudio puede completarse con la perspectiva de los consumidores, los cuales con base en su percepción opinen sobre la importancia del CRM en su decisión de compra.

Referencias

- Agnihotri, R., Trainor, K., Itani, O., & Rodríguez, M. (2017). Examining the role of sales-based CRM technology and social media use on post-sale service behaviors in India. *Journal of Business Research* (81), 144-154. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2017.08.021>
- Al, J. A., Anuar, M. M., Dacko, Z. & Saputra, J. (2021). The impact of customer relationship management dimensions on service quality. *Olish Journal of Management Studies*, 23(2). <https://doi.org/10.17512/pjms.2021.23.2.02>
- Alqershi, N., Mokhtar, S. S., & Abas, Z. B. (2020). Innovative CRM and performance of SMEs: The moderating role of relational capital. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 6(4), 1-18. <https://doi.org/10.3390/joitmc6040155>
- Berry, L. (1995). Relationship Marketing of Services—Growing Interest, Emerging Perspectives. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 23(4), 236-245. <https://doi.org/10.1177/009207039502300402>
- Cámara Nacional de la Industria de Artes Gráficas (CANAGRAF). (2020). Nueva normalidad. *Revista Bimestral de la Industria de las Artes Gráficas*, 1-21. <https://canagraf.mx/pdf/Noviembre2020.pdf>
- Celina, H., & Campo, A. (2005). Aproximación al uso del coeficiente alfa de Cronbach. *Revista Colombiana de Psiquiatría*, 34(4), 572-580. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0034-74502005000400009&script=sci_abstract&tlng=es
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2020). *Dimensionar los efectos del COVID-19 para pensar en la reactivación*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45445/4/S2000286_es.pdf
- Cepel, M., Gavurova, B., & Dvorsky, J. (2020). The impact of the COVID-19 crisis on the perception of business risk in the SME segment. *Journal of International Studies*, 13(3), 248-263. <https://doi.org/10.14254/2071-8330.2020/13-3/16>
- Chi, N. T. (2021). Innovation capability: The impact of e-CRM and COVID-19 risk perception. *Technology in Society*, 67, 101725. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101725>
- Cruz-Estrada, I. (2018). Aplicación de la mercadotecnia relacional en una empresa de venta de café de Baja California. *Región y Sociedad*, 30(71), 1-38. <https://doi.org/10.22198/rys.2018.71.a392>
- De La Hoz-Granadillo, E., López-Polo, L., & Pérez-Coronell, L. (2017). Modelo de gestión de relaciones con los clientes en

- empresas de consultoría. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 5(2), 46-76.
<https://doi.org/10.17081/invinno.5.2.2756>
- Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE). (2020). *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas: Industrias manufactureras de impresión en Tijuana*. México: INEGI.
<https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/>
- Gajdzik, B., & Wolniak, R. (2021). Influence of the COVID-19 Crisis on Steel Production in Poland Compared to the Financial Crisis of 2009 and to Boom Periods in the Market. *Resources*, 10(4), 1-17.
<https://doi.org/10.3390/resources10010004>
- Garrido, L. (2008). *La gestión de relaciones con clientes (CRM) como estrategia de negocio: desarrollo de un modelo de éxito y análisis empírico en el sector hotelero español*. Málaga: Universidad de Málaga.
https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/4606/TDR_GARRIDO_MORENO.pdf?sequence=6&isAllowed=1
- Grönroos, C. (1994). *Marketing y gestión de servicios: la gestión de los momentos de la verdad y la competencia en los servicios*. Madrid: Díaz de Santos.
- Harrigan, P., Miles, M. P., Fang, Y., & Roy, S. K. (2020). The role of social media in the engagement and information processes of social CRM. *International Journal of Information Management*, 54.
<https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102151>
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: McGraw Hill.
- Hinton, P., McMuray, I. & Broulow, C. (2014). *SPSS Explained*. New York EUA: Routledge.
- Jahmani, A., Bourini, I., & Jawabreh, O. A. (2020). La relación entre la calidad del servicio, la satisfacción del cliente, el valor percibido y la fidelidad del cliente: un estudio de caso de Fly Emirates. *Cuadernos de Turismo* (45), 219-238.
<https://doi.org/10.6018/turismo.426101>
- Mahmood, A., Rana, M., & Kanwal, S. (2018). Relationship between Service Quality, Customer Loyalty and Customer Satisfaction. *The Lahore Journal of Business*, 6(2), 135-154.
<https://doi.org/10.35536/ljb.2018.v6.i2.a6>
- Márquez-Peñaloza, E., Leiva-Riofrio, G., Shagui-González, J., & Sánchez-González, I. (2021). Marcas blancas, valor percibido y la lealtad en el sector retail. *Conference Proceedings UTMACH*, 28-42.
<https://doi.org/10.48190/cp.v5n1a3>
- Morgan, R., & Hunt, S. (1994). The Commitment-Trust Theory of Relationship Marketing. *Journal of Marketing*, 20-38.
<https://doi.org/10.2307/1252308>
- Mutiana, P. & Ulya, I. A. (2021). The Effectiveness of the Concept of CRM Application for SMEs during the COVID-19 Pandemic. *Journal of Physics: Conference Series*, 1933, 012026.
<http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1933/1/012026>
- Orengo-Serra, K. L. & Sánchez-Jauregui, M. (2021). Coping with earthquakes and

- COVID-19: A perspective of customer relationship. *Estudios Gerenciales*, 37(159), 318-331. <https://doi.org/10.18046/j.estger.2021.159.4435>
- Ortega-Vivanco, M. (2020). Efectos del Covid-19 en el comportamiento del consumidor: Caso Ecuador. *10(20)*, 1390-6291. <https://doi.org/10.17163/ret.n20.2020.03>
- Pedron, C. D., Picoto, W. N., Colaco, M., & Araújo, C. (2018). CRM System: The Role of Dynamic Capabilities in creating Innovation Capability. *Brazilian Business Review*, 15(5), 494–511. <https://doi.org/10.15728/bbr.2018.15.5.6>
- Pratiwi, M., & Arsyah, U. (2021). The Effectiveness of the Concept of CRM Application for SMEs during the COVID-19 Pandemic. *Journal of Physics: Conference Series*, 1933. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1933/1/012026>
- Salah, O. S., Yusof, Z. M. & Mohamed, H. (2021). The determinant factors for the adoption of CRM in the Palestinian SMEs: The moderating effect of firm size. *PLoS ONE*, 16(3), e0259344. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0259344>
- Sandoval, S. (2018). *Gestión de la calidad en atención al cliente y plan de mejora en las micro y pequeñas empresas del sector servicios – rubro imprentas, cercado de Trujillo, año 2018*. Trujillo, Perú: Universidad Católica Los Ángeles Chimbote. http://repositorio.uladech.edu.pe/bitstream/handle/123456789/9378/CALIDA_D_IMPRENTAS_SANDOVAL_ESPI
- NOZA_SHEILA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Sobral, M., Antão, J., Pereira, R., Scalabrin, I., Tovma, N. & Shurenov, N. (2023). Improving real estate CRM user experience and satisfaction: A user-centered design approach. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*. 9(2), 1-10, <https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2023.100076>
- Siarhei, Y. & Moutaz, H. (2021). Social CRM in SMEs: A Systematic Literature Review. *Procedia Computer Science*, 181, 535-544. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.200>
- Spencer, S. Y., Joinerb, T. A. & Salmon, S. (2009). Differentiation Strategy, Performance Measurement Systems and Organizational Performance: Evidence from Australia. *International Journal of Business*, 14(1), 84-103. <https://ijb.cyut.edu.tw/var/file/10/1010/img/855/V141-5.pdf>
- Sutherland, K., Freberg, K., Driver, C., & Umi, K. (2020). Public relations and customer service: Employer perspectives of social mediaproficiency. *Public Relations Review*, 46(4). <https://doi.org/10.1016/j.pubrev.2020.101954>
- Valenzuela, L. M., & Martínez, C. A. (2015). Orientación al Cliente, Tecnologías de Información y Desempeño Organizacional: Caso empresa de consumo masivo en Chile. *Revista Venezolana de Gerencia*, 20(70), 334-352. <https://doi.org/10.37960/revista.v20i70.19999>

- Valenzuela, L., & Torres, E. (2008). Gestión empresarial orientada al valor del cliente como fuente de ventaja competitiva. Propuesta de un modelo explicativo. *Estudios Gerenciales*, 24(109), 65-86. [https://doi.org/10.1016/S0123-5923\(08\)70053-6](https://doi.org/10.1016/S0123-5923(08)70053-6)
- Vargas-Sánchez, A. (2020). Entender el turismo post-coronavirus: posibles escenarios. En L. Rondón, L. Troitiño, y C. Mulet, *El turismo después de la pandemia global: análisis y perspectivas y vías de recuperación* (págs. 7-19). España: AECIT. <https://aecit.org/uploads/public/DOCUMENTO.covid-19%20y%20turismo.pdf>
- Williams, P., Ashill, N. & Naumann, E. (2017). Toward a contingency theory of CRM adoption. *Journal of Strategic Marketing*, 25(5-6), 454-474. <https://doi.org/10.1080/0965254X.2016.1149211>
- Zavala-Choez, F. N., & Vélez-Moreira, E. M. (2020). La gestión de la calidad y el servicio al cliente como factor de competitividad en las empresas de servicios - Ecuador. *Dominio de las Ciencias*, 6(3), 264-281. <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v6i3.1284>



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

Incidencia ergonómica osteomuscular de origen laboral en los operadores de confección de las Pymes de Cotacachi

Ergonomic musculoskeletal incidence of occupational origin in garment workers SMEs in Cotacachi

Vaca-Gómez, D.M., Nolivos-Alvarado, L.J., Jiménez-Rey, J.F.

Universidad Técnica del Norte; Ibarra, Imbabura, Ecuador.
Instituto Tecnológico Superior Cotacachi; Cotacachi, Imbabura, Ecuador.
dmvacag@utn.edu.ec

Innovación tecnológica: Introducción de una aplicación móvil en el proceso de evaluación ergonómica en sectores productivos poco favorecidos tecnológicamente, como son las MIPYMES de confección textil.

Área de aplicación industrial: Prevención de riesgos laborales en la industria, innovación.

Recibido: 24 marzo 2023

Aceptado: 21 agosto 2023

Abstract

The ergonomic osteo-muscular incidence of occupational origin in a group of textile clothing machinery operators belonging to a group of SMEs in Cotacachi was studied. The selected method is the Occupational Repetitive Action (OCRA) proposed for risk assessment in repetitive work in the upper limbs, integrated into the compendium of applications Ergo/IBV, an application for mobile phones. The main results attribute an unacceptable risk index to the operators who were part of the study, which means that actions are required to improve the current conditions of the workplace in order to reduce the probability of occurrence of musculoskeletal disorders.

Key words: Ergonomics; Textile Garment Machinery Operators; Musculoskeletal Disorders.

Resumen

Se estudia la incidencia ergonómica osteomuscular de origen laboral en un grupo de operadores de maquinaria de confección textil pertenecientes a un grupo de PYMES de Cotacachi. El método seleccionado es el Occupational Repetitive Action (OCRA) propuesto para la

valoración del riesgo en trabajos repetitivos en los miembros superiores, integrado al compendio de aplicaciones de Ergo/IBV, aplicación para teléfonos móviles. Los resultados principales atribuyen un índice de riesgo no aceptable a los operadores que formaron parte del estudio, lo que significa que se requiere emprender acciones para mejorar las actuales condiciones del puesto de trabajo, con la finalidad de disminuir la probabilidad de aparición de trastornos músculo esqueléticos.

Palabras claves: Ergonomía; Operadores de maquinaria de confección textil; Trastornos músculo esqueléticos.

I. Introducción

Las empresas dedicadas a la fabricación de prendas de vestir constituyen un agente promotor del desarrollo de la economía a nivel cantonal, provincial y nacional. Caracterizada por la prevalencia de las MIPYMES, el principal aporte del sector de la confección textil es el empleo de mano de obra directa y el encadenamiento productivo con otros sectores, entre ellos los proveedores de materiales y bases textiles (INEC, 2017). Un componente general de este tipo de empresas es el proceso productivo, organizado de tal forma que son capaces de producir lotes industriales de prendas de vestir buscando mantener en todo momento la eficiencia de la utilización de sus recursos. Las actividades que agregan valor, comúnmente están vinculadas con la adquisición de las materias primas, el diseño de las prendas de vestir, el corte de la tela en base a un patrón elaborado previamente, el ensamble de las partes obtenidas (Yépez et al., 2019). Además, se desarrollan otras actividades de planta como el mantenimiento de equipos y maquinaria, almacenamiento, el control de la calidad, etc. Uno de los procesos críticos es el ensamble de la prenda de vestir, que, en detalle, consiste asignar un operador a una maquinaria de confección, quien, en una jornada de trabajo, será el encargado de unir las piezas de bases las textiles para armar la prenda de vestir, mediante puntadas y costuras. El operador promedio, comúnmente debe presentar los conocimientos, las habilidades y destrezas suficientes para operar de manera eficiente la maquinaria básica de confección y

mantener un ritmo estándar de trabajo que la empresa se ha propuesto. A diferencia de otros subprocesos propios de la confección textil, ensamblar las prendas se caracteriza la ejecución de un conjunto de operaciones en posición sentado, donde se agrupan el mayor número de trabajadores de la empresa. Si bien es cierto, esta actividad le representa al operador de la maquinaria de confección una oportunidad laboral, mantener el nivel de productividad propuesto podría dar lugar a riesgos ergonómicos. Guasch (2012), por ejemplo, sostiene que los trabajos de confección y de moda, comúnmente presentan en los trabajadores, problemas de salud, como dolencias musculares, las alteraciones de la vista, el estrés o la fatiga física y mental. Estos efectos están relacionados muy a menudo con un deficiente diseño del puesto y de la organización del trabajo. El mismo autor sostiene que, desde un punto de vista de prevención, existe una clara asociación entre dichos problemas y las actividades que implican tareas repetitivas, posturas forzadas, ritmo de trabajo excesivo, uso de herramientas manuales, manipulación de carga, etc.

En respuesta a los problemas de salud relacionados con los factores de riesgos ergonómicos, se han desarrollado diversos métodos puntuales de carácter evaluativos de las condiciones del puesto de trabajo, que, de acuerdo a la pesquisa, se han empleado para indagar sobre las actividades desarrollados por los operadores de maquinaria de confección.

En este sentido Ortiz et al., (2022)

realizaron un trabajo enfocado a reducir el nivel de riesgo, en una pyme de confección textil del Perú, mediante la propuesta de un método ergonómico basado en la integración de los métodos REBA (valoración rápida del cuerpo completo) y RULA (valoración rápida de los miembros superiores). En primera instancia, se evaluaron 12 operarios, de los cuales nueve prestaban sus servicios de operador de maquinaria básica de confección en posición de trabajo sentado. El diagnóstico de riesgo RULA puso en evidencia, que, del total de operadores de confección, siete presentaban niveles de riesgo alto y requerían urgente el rediseño del puesto de trabajo, mientras que el resto presentaban niveles de riesgo medio, y requerían ajustes del puesto de trabajo. Mientras que el diagnóstico bajo el método REBA, el nivel de riesgo es medio para cinco operadores de maquinaria básica de confección y bajo para el resto.

La indagación de los riesgos ergonómicos en operadores de maquinaria de confección, no solo involucra métodos especializados, también se han empleado estudios de opinión y percepción. Pares y Martínez (2014), por ejemplo, desarrollaron un estudio sobre los trastornos músculo-esqueléticos y psíquicos en población trabajadora, maquila de la confección en el departamento de Cortés en Honduras. El método seguido fue la aplicación de encuestas a una muestra de 526 trabajadores. Los resultados principales, dieron a conocer que el 62% de la muestra presentaba trastornos, donde los puestos de trabajo se caracterizan por ser diseñados de tal manera que el operador debe asumir posiciones forzadas y movimientos repetitivos por grandes periodos de tiempo. Los autores concluyen intervenir para el rediseño y ajuste los puestos de trabajo para mejorar las condiciones y salud de los trabajadores. De igual manera, Bran y Arboleda (2022), investigaron la percepción sobre los procesos de adopción de sistemas de seguridad y salud en el

trabajo en 8 micro, pequeñas y medianas empresas (MIPYMES) del sector textil del Valle de Aburrá en Antioquia Colombia. Los resultados del trabajo, dieron a conocer que los participantes muestran un nivel de conocimiento sobre los conceptos básicos de seguridad y salud ocupacional vinculados a las prácticas laborales asignados, no obstante, los niveles de conocimiento en cuanto al auto cuidado ergonómico en cuanto a las posturas de trabajo incorrectas y al exceso de carga de trabajo son limitados. Otros trabajos concernientes al mismo tema de estudio, denotan los esfuerzos por prevenir los efectos de los riesgos ergonómicos en la salud de los trabajadores. En este sentido Otto y Battaia (2017) plantean métodos novedosos de planificación de la producción en líneas de ensamble integrales, aplicables a la empresa de confección, compuestos no solo por las herramientas tradicionales que buscan la eficiencia productiva, sino también adicionan las modificaciones necesarias en los puestos de trabajo para disminuir la aplicación de fuerzas requerida para el manejo de cargas pesadas y las posturas incómodas.

Los hallazgos literarios presentados, entorno a la ergonomía y fabricación de prendas de vestir, concuerdan con las premisas propuestas por Colovic (2014), quien sostiene que, si las condiciones de trabajo de la industria de confección y textil son inseguras, pueden provocar varios problemas de salud a los trabajadores. Por lo tanto, es imprescindible, mantener procesos constantes de evaluación y mejora de los puestos de trabajo con la finalidad de prevenir los riesgos presentes.

En los últimos años se han generado un sin número de cambios tecnológicos donde predomina el empleo de las tecnologías de la información, las telecomunicaciones, la informática, etc. (Rodríguez y Senín, 2022). Uno de las herramientas resultantes es el teléfono móvil inteligente, que, en la

actualidad, permite al usuario conectarse a internet, gestionar cuentas de correo electrónico e instalar otras aplicaciones y recursos a modo de pequeño computador (Ruiz et al., 2022). Si bien es cierto, la tecnología actual de los teléfonos móviles juega un rol importante en la comunicación y las relaciones sociales, presentan grandes beneficios relacionados con la integración y uso de aplicaciones (apps) encaminadas a la innovación industrial. De acuerdo con Díaz et al., (2021) con la aplicación de la tecnología para la generación de apps móvil, para teléfonos celulares, los empleados reciben gran cantidad de información desde otros teléfonos, pueden adoptar sistemas de control en tiempo real y análisis de sistemas de producción, es posible la generación de información de sus actividades diarias de trabajo causando un incremento del proceso de digitalización y distribución de información de forma permanente. Lo que representa una opción prometedora para la innovación a través de la introducción de una nueva, eficiente y accesible tecnología para potencializar los procesos, productos, personas, tecnología y negocios tal como lo sostienen Sablón, Orozco, Lomas, & Montero (2018). Aunque la literatura deja en claro que el uso desmedido y mal direccionado de la tecnología podría provocar efectos nocivos a la salud física y mental de usuarios; en condiciones ideales para la empresa, las aplicaciones móviles proporcionan a los trabajadores un conjunto de recursos de aprendizaje para alcanzar nuevos conocimientos, el entendimiento entre compañeros, además, promueve nuevas y ágiles formas innovación empresarial.

Por otro lado, en el campo de la ergonomía, los avances tecnológicos han dado como resultado la propuesta de una serie de apps móviles que integran diversos métodos de evaluación de los factores de riesgos en la industria, como por ejemplo Ergoniza, Ergo/IBV, etc. Las aplicaciones de tipo móviles, acopla un conjunto de métodos especializados como OCRA, MÉTODO

JOB STRAIN INDEX JSI, RULA, OWAS, REBA, SNOOK Y CIRIELLO, NIOSH, LEST, ROSA, LCE, etc. Generalmente, las apps no se limitan a proporcionar los procedimientos para cada uno de los métodos existentes, sino que presentan la ventaja de proporcionar al evaluador una organización soporte en cuanto al asesoramiento virtual de como evaluar la ergonomía de un puesto de trabajo, la comprobación inicial de riesgos, manipulación de cargas, evaluación de posturas, evaluación de fuerzas biomecánicas, repetitividad de movimientos, evaluación de oficinas, evaluación global, ambiente térmico, etc. (León et al., 2021; Muñoz et al, 2015).

Bajo este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo, determinar la incidencia ergonómica osteomuscular de origen laboral en un grupo de operadores de maquinaria básica de confección de cantón Cotacachi de la provincia de Imbabura, mediante el método Occupational Repetitive Action (OCRA) integrado a una aplicación móvil especializada. Se tomó como punto de partida, que los resultados a obtener no solo se postulen como una línea base para mejorar las condiciones de los puestos de trabajo y por ende la salud de los operadores de maquinaria básica de confección, sino también determinar la factibilidad de la introducción de los últimos avances tecnológicos en forma de aplicación para teléfonos móviles, que mejoren el proceso de evaluación ergonómica, como una estrategia para llevar a la práctica los avances de la disciplina.

De aquí en adelante, el documento se organiza con los materiales y métodos, los resultados y discusión y finalmente se exponen las conclusiones y recomendaciones.

II. Materiales y métodos

El presente trabajo se realiza mediante la consecución de tres etapas: la primera que

consistente en la selección de los operadores de maquinaria de confección textil, la segunda, donde se prevé realizar la evaluación de la exposición de los trabajadores a factores de riesgo que originan una elevada carga postural, y; la tercera donde se realiza un estudio de opinión en una muestra de operadores de maquinarias de confección textil, sobre la percepción de los riesgos ergonómicos a los cuales están sometidos.

Los operadores de maquinaria básica de confección son seleccionados desde cuatro empresas dedicadas a la fabricación de

prendas de vestir del cantón Cotacachi en la provincia de Imbabura-Ecuador. Las empresas se distribuyen en micro (2) y pequeñas (2), con un total de cinco trabajadoras (Tabla 1). Se asume como operador de confección textil al trabajador que presta sus servicios laborales en cada una de las empresas, que dentro de sus actividades productivas operan la maquinaria básica de confección como la recta, overlock y/o recubridora, para ejecutar los procesos de ensamble de prendas de vestir mediante puntadas y costuras. Todos los individuos pertenecen al género femenino (Yépez et al., 2019).

Tabla 1. Nivel de actuación.

No. Empresa	Tamaño	No. de operadores
1	Micro empresa	1
2	Micro empresa	1
3	Pequeña	1
4	Pequeña	2

Elaborado por: El Autor.

Seguido, se aplicó la evaluación de la exposición a los factores de riesgo por carga postural en el grupo de estudio. Se conoce de ante mano que la operación de la maquinaria básica de confección demanda la adopción de una posición de trabajo sentado, con mayor empleo de las extremidades superiores del cuerpo, de forma continuada o repetida en gran parte de la jornada de trabajo, por lo que el método seleccionado es el método Occupational Repetitive Action (OCRA), recomendado para repetitividad, posturas inadecuadas o estáticas, fuerzas, movimientos forzados y la falta de descansos o periodos de recuperación, valorándolos a lo largo del tiempo de actividad del trabajador, además propuesto para la valoración del riesgo por trabajo repetitivo en los miembros superiores (Occhipinti, 1998).

La aplicación del método OCRA requirió el desarrollo de un estudio del trabajo, que básicamente consiste en determinar a través de la observación las condiciones y las características del método de trabajo de

cada operador. Se consideró la organización del tiempo de trabajo de acuerdo los siguientes aspectos: a) el tiempo que ocupa el trabajador para realizar las operaciones en máquina básica de confección; b) el tiempo libre o pausas de trabajo; c) el tiempo de recuperación, en donde varios grupos musculares permanecen en reposo; d) las frecuencias y ciclos de trabajo, y finalmente; e) las diferentes posturas adoptadas de acuerdo a hombros, el codos, la muñecas y el agarre, incluyendo movimientos estereotipados. La fuerza realizada por manos y brazos para ejecutar la tarea, así como otros factores de riesgo, como el uso de equipos de protección individual, golpes, exposición al frío, vibraciones o ritmos de trabajo inadecuados, se encuentran dentro de la misma condición.

Tras obtener la puntuación individual de los componentes mediante la observación directa de las condiciones de trabajo mediante la observación, se asigna una puntuación a los elementos de organización, recuperación, frecuencia,

fuerza, posturas y otros resultados, un segundo conjunto de procedimientos aritméticos, permiten determinar Índice Check List OCRA (ICKL) de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$ICKL = (FR + FF + FFZ + FP + FC) \cdot MD \quad (\text{Ec. 1})$$

Dónde:

FR= Factor de recuperación

FF= Factor de frecuencia

FFZ= Factor de fuerza

FP= Factor de postura y movimiento

FC= Factor de riesgo adicional

MD= Multiplicador de duración

Fuente: Colombini, Occhipinti y Grieco (2002).

Una vez obtenido el ICKL, se procede a determinar el nivel de riesgo (NR) global del puesto de trabajo y la acción recomendada (Tabla 2).

Tabla 2. Nivel de actuación.

ICKL	Nivel de Riesgo		ICKL
	Nivel	Descripción	
≤ 5	Óptimo	No se requiere	≤ 1.5
5.1 - 7.5	Aceptable	No se requiere	1.6 - 2.2
7.6 – 11	Incierto	Se recomienda un nuevo análisis o mejora del puesto	2.3 - 3.5
11.1 – 14	Inaceptable Leve	Se recomienda mejora del puesto, supervisión médica y entrenamiento	3.6 - 4.5
14.1 - 22.5	Inaceptable Medio	Se recomienda mejora del puesto, supervisión médica y entrenamiento	4.6 - 9
> 22.5	Inaceptable Alto	Se recomienda mejora del puesto, supervisión médica y entrenamiento	> 9

Fuente: Occhipinti (1998) y Colombini, Occhipinti y Grieco (2022).

Mientras mayor es el nivel de riesgo determinado a partir de la aplicación del método OCRA, mayor será la probabilidad de aparición de trastornos músculo-esqueléticos en un determinado tiempo.

El estudio abordado no se limitó a evaluar los riesgos ergonómicos asociados al trabajo de los operadores de maquinaria básica de confección de una sola empresa, sino que se extiende a un nicho empresarial representativo de la confección textil de la provincia de Imbabura, por lo que fue necesario recurrir a las tecnologías de la información disponibles que permitan una mayor cobertura y automatización de las tareas de cálculo que demanda el método de evaluación ergonómica seleccionado. Por lo que, durante esta etapa, se empleó como herramienta tecnológica el teléfono inteligente dotado con el software Ergo/IBV. El objetivo del software es agilizar el proceso de evaluación de riesgos ergonómicos que apunta a la integración de un compendio de métodos de evaluación de

riesgos ergonómicos para la industria, proporciona al usuario un asistente programado que ayuda a identificar el método idóneo y ofrece otras herramientas de apoyo durante la evaluación. Efectivamente, Ergo/IBV integra un módulo completo para la evaluación del riesgo ergonómico mediante el método OCRA.

El estudio de opinión se aplicó a una muestra de operadores de maquinarias de confección textil compuesta por 48 individuos (Ecuación 2). El objetivo es determinar percepción de los riesgos ergonómicos a los cuales están sometidos, considerando el nivel de conocimiento que presentan sobre las medidas de auto protección para este tipo de riesgos y las molestias de tipo físico que han experimentado en los últimos meses de trabajo.

$$n = \frac{N * (\infty * 0,5)^2}{1 + (e^2 (N - 1))} \quad (\text{Ec. 2})$$

Fuente: Cortez et al. (2020).

Se empleó un cuestionario compuesto por dos preguntas abiertas, enfocadas a medir cualitativamente dos variables básicas: 1) las medidas de auto protección implementadas en el puesto de trabajo y 2) la presencia de efectos y síntomas de trastornos músculo esqueléticos. El método de aplicación del instrumento fue cara a cara.

Los resultados obtenidos son analizados y presentados en el siguiente apartado.

III. Resultados y discusión

3.1. Resultados de evaluación de la exposición de los trabajadores a factores de organización, recuperación, frecuencia, fuerza, posturas y otros factores.

A continuación, se presentan los resultados de la evaluación de la exposición de los trabajadores a factores de riesgo que originan una elevada carga postural en dos partes.

En la tabla 3, se presentan los datos demográficos básicos de las trabajadoras.

Tabla 3. Datos demográficos de los operadores de confección textil.

Operadores	Edad	Experiencia en el puesto (años)
Operador 1	32	5
Operador 2	33	4
Operador 3	42	8
Operador 4	34	12
Operador 5	39	7,7

Elaborado por: El Autor.

Las operadoras de confección alcanzan un promedio de edad de 36 años, con una desviación estándar de 4,3 años, mientras tanto que la experiencia promedio en el puesto es de 7,34 años con una desviación estándar de 3,12 años.

Los primeros indicadores del estudio del trabajo obtenidos bajo el método OCRA son el tiempo neto de trabajo repetitivo y el tiempo neto de ciclo. El primer indicador es el tiempo de trabajo que el trabajador realiza actividades repetitivas, es decir el tiempo de la jornada laboral disminuyendo los tiempos de trabajo que no demanden actividades repetitivas, pausas o descansos. Mientras que el tiempo de ciclo neto es el ciclo de trabajo si sólo se consideraran las tareas repetitivas realizadas en el puesto, obtenidos a partir de la relación del tiempo de trabajo repetitivos y los ciclo por jornada de trabajo. El cálculo de estos dos indicadores para cada uno de los operadores se presenta en la siguiente tabla (Tabla 4).

Tabla 4. Cálculo del tiempo neto de trabajo repetitivo y el tiempo neto de ciclo.

Operador	Tiempo neto de trabajo repetitivo (minutos/día)	Tiempo neto de trabajo repetitivo (horas/día)	Tiempo neto de ciclo (minutos/día)	Tiempo neto de ciclo (horas/día)
No. 1	450	7,50	5,33	0,09
No. 2	455	7,58	6,22	0,10
No. 3	450	7,50	8,53	0,14
No. 4	450	7,50	4,16	0,07
No. 5	440	7,33	6,55	0,11

Fuente: Elaborado por el Autor.

El tiempo de trabajo promedio designado para tareas repetitivas, bajo operación de una máquina básica de confección, asciende 7,5 horas por día, con una desviación estándar de 0,09 horas. Mientras que el promedio del tiempo de ciclo medio equivale a 0,10 horas/día, con una desviación estándar de 0,03 horas. A raíz de estos datos, se puede determinar un promedio de 93,54%, con una desviación estándar de 1,14%, de exposición a tareas repetitivas con respecto a la jornada laboral completa.

De acuerdo al método OCRA, la existencia de periodos de recuperación correctos tras un periodo de actividad permite la recuperación de los tejidos óseos y musculares, caso contrario la ejecución de las actividades de trabajo podría provocar el riesgo de padecer trastornos de tipo músculo-esquelético.

En el estudio de campo, se puede apreciar que el factor de recuperación alcanzado corresponde a los valores de 3, para 3 operadores y 4, para 2 operadores, del total de 10 puntos posibles (Tabla 5).

Tabla 5. Factor de recuperación.

Operador	Lado	
	Derecho	Izquierdo
No. 1	3	0
No. 2	3	0
No. 3	0	4
No. 4	0	4
No. 5	3	0

Fuente: Elaborado por el Autor.

Aunque para ambos casos, no se mantiene una organización del trabajo ideal, sea por la existencia de interrupciones programada de al menos 8 minutos por hora trabajada incluyendo el tiempo de descanso, o por contar con 10 segundos de recuperación por minuto trabajado, la puntuación obtenida para el factor de recuperación, de modo favorable no asciende a los 10 puntos. Los valores de 3 y 4 alcanzados equivalen a una organización del trabajo configurada de tal forma, que los operadores acceden de dos a

3 pausas programadas durante la jornada de trabajo.

La frecuencia con la que se realizan movimientos repetitivos influye en el riesgo que suponen sobre la salud del trabajador, lo que quiere decir que un mayor número de acciones por unidad de tiempo, o un menor tiempo para realizar un número determinado de acciones, supone un incremento del riesgo.

La Tabla 6 presenta el índice de frecuencia alcanzado por los operadores en dos casos, el primero donde 2 operadores alcanzan una puntuación de 2, 5, mientras que, en el segundo caso, los operadores presentan una frecuencia de 4,5, del total de 10 puntos posibles.

Tabla 6. Frecuencia.

Operador	Lado	
	Derecho	Izquierdo
No. 1	4,5	0
No. 2	0	2,5
No. 3	4,5	0
No. 4	4,5	0
No. 5	0	2,5

Fuente: Elaborado por el Autor.

Siguiendo el método OCRA, la frecuencia se determinó a partir de los indicadores de las repeticiones de las acciones dinámicas y estáticas. Las acciones dinámicas observadas para el primer caso, se caracterizan por ser movimientos lentos de brazos, con posibilidad de frecuentes interrupciones. Mientras que, para el segundo caso, el movimiento de los brazos es rápido con posibilidad de frecuentes interrupciones. Las acciones estáticas, para ambos casos, ocurren porque el operador mantiene en presa estática las piezas de las bases textiles que unirá. Esto con una duración de al menos 5 segundos consecutivos. Básicamente, en esta instancia, los operadores requieren acciones técnicas habituales y movimientos como alcanzar, que consiste en llevar a la mano las piezas textiles que posteriormente serán

ensambladas en la maquinaria de confección asignada, agarrar, que consiste en asir las piezas textiles seleccionadas, tomar de una mano a otra, colocar o ubicar con una alta precisión y rapidez las piezas textiles traslapadas sobre el punto de la máquina deseado, introducir y sacar, que consiste en emplear la fuerza, empuja las piezas textiles, para unir las mediante las puntadas y costuras ejecutadas por la máquina de turno, posteriormente jala el producto empleando una mínima cantidad de fuerza, así como otras acciones técnicas que consiste en como doblar, curvar, rotar, etc. las piezas durante la ejecución de puntadas y costuras. Las acciones dinámicas tienen mayor relevancia para el lado izquierdo del cuerpo del trabajador, cuando se trata de alcanzar, tomar y otras acciones técnicas.

El siguiente indicador es la estimación de la fuerza que aplica cada operador en brazos y manos para la ejecución de la tarea. Se observó que la operación de la maquinaria básica de confección demanda de la aplicación de fuerza en brazos y manos de tipo intensa con una duración de entre el 5% y 10% del tiempo, para el lado derecho y moderado, con una duración constante, para

el lado izquierdo, de acuerdo a la escala de Borg CR-10.

Tabla 7. Estimación del índice de la fuerza aplicada por manos y fuerzas.

Operador	Lado derecho	Lado izquierdo
Operador 1	16	8
Operador 2	16	16
Operador 3	16	8
Operador 4	16	16
Operador 5	16	2

Nota: la escala de Borg como referencia para el esfuerzo físico, relaciona el tiempo durante el cual una postura puede ser mantenida, independiente de una fuerza externa y la percepción de esfuerzo físico. Los resultados se expresan en niveles adimensionales.

Fuente: Elaborado por el Autor.

En efecto, la intensidad de la fuerza es superior para el lado derecho del cuerpo del operador, con respecto al lado izquierdo (Tabla 7). Lo que es consistente con respecto a las acciones dinámicas identificadas, las cuales tienen mayor peso en cuanto a su variedad y frecuencia en el lado derecho.

En detalle, la suma del puntaje y el promedio de la aplicación de la fuerza es mayor en las partes codo, muñeca y mano-dedos, del lado derecho, como se puede apreciar en la siguiente tabla (Tabla 8).

Tabla 8. Estimación de la fuerza, hombro, codo, muñeca u manos-dedos.

Lado	Operador	Hombro	Codo	Muñeca	Mano-dedos
Derecho	Operador 1	1	4	2	4
	Operador 2	1	4	2	2
	Operador 3	1	4	2	4
	Operador 4	1	4	2	4
	Operador 5	1	4	2	4
	Estadísticas				
	Suma	5	20	10	18
	Promedio	1	4	2	3,6
	Desviación estándar	0,00	0,00	0,00	0,89
Izquierdo	Operador 1	1	0	0	2
	Operador 2	1	0	0	2
	Operador 3	1	0	0	4
	Operador 4	1	0	2	4
	Operador 5	1	0	2	4
	Estadísticas				
	Suma	5	0	4	16
	Promedio	1	0	0,8	3,2
	Desviación estándar	0,00	0,00	1,10	1,10

Fuente: Elaborado por el Autor.

El cálculo del factor de posturas y movimientos se puede apreciar en la siguiente tabla (Tabla 9).

Tabla 9. Estimación del factor de posturas y movimientos.

Operador	Lado derecho	Lado izquierdo
Operador 1	5,5	2
Operador 2	7	3,5
Operador 3	5,5	5,5
Operador 4	5,5	5,5
Operador 5	5,5	5,5
Promedio	5,8	4,4

Fuente: Elaborado por el Autor.

El promedio del factor de posturas y movimientos alcanza un puntaje promedio de 5,8, con una desviación estándar de 0,67 puntos, mientras que para el lado izquierdo equivale a 4,4 puntos, con una desviación estándar de 1,60 puntos, de 30 puntos posibles. Aunque la operación de maquinaria de confección demande en gran parte del empleo de las partes superiores del trabajador, la puntuación de posturas y movimientos de hombros, codo, muñecas y manos está muy por debajo de los 30 puntos posibles. Esto se debe a que, en su mayoría, los puestos de trabajo y la asignación de cargas de trabajo para la mayoría de los operadores implica la postura de brazos

apoyados ligeramente elevados más de la mitad del tiempo, los codos realizan movimientos repentinos hasta un tercio del tiempo, la muñeca permanece doblada en una posición incómoda adoptando posturas generalmente forzadas, manteniendo un agarre durante más de la mitad del tiempo de la ejecución de un ciclo de trabajo.

Durante el estudio ergonómico, no se han identificado factores de riesgo adicionales que puedan afectar al riesgo global. En síntesis, el ritmo de trabajo está parcialmente determinado por la velocidad de ejecución de puntadas y costuras, con pequeños lapsos de tiempo en los que el ritmo de trabajo puede disminuirse o acelerarse. Pero en sí, alcanzar los niveles de productividad trazados en la jornada laboral, depende en gran proporción por la habilidad y ritmo de trabajo que mantenga el operador.

3.2. Resultados de la valoración general del riesgo

Con los resultados alcanzados hasta este instante, finalmente se obtuvo el índice de riesgo y valoración (Tabla 10).

Tabla 10. Estimación del índice de riesgo y valoración.

Operadores	Índice de riesgo y valoración	
	Lado derecho	Lado izquierdo
Operador 1	No aceptable. Nivel alto	No aceptable. Nivel medio
Operador 2	No aceptable. Nivel alto	No aceptable. Nivel alto
Operador 3	No aceptable. Nivel alto	No aceptable. Nivel alto
Operador 4	No aceptable. Nivel alto	No aceptable. Nivel alto
Operador 5	No aceptable. Nivel medio	No aceptable. Nivel medio

Fuente: Elaborado por el Autor.

Como se puede apreciar para todos los operadores de la maquinaria básica de confección el índice de riesgo es no aceptable. Siguiendo la interpretación de los resultados de acuerdo al método OCRA, se requiere emprender acciones para mejorar las actuales condiciones del puesto de trabajo, la supervisión médica y un mayor entrenamiento. Por lo que se puede concluir que todos los operarios de máquina básica de confección textil a los cuales se

les aplicó el método OCRA presentan una alta probabilidad de aparición de trastornos músculo esqueléticos de acuerdo la valoración del riesgo en los miembros superiores del cuerpo.

3.3. Discusión

La discusión se desarrolla en dos sentidos, el primero en constatar si los resultados de la evaluación de riesgos aplicada a las cinco operadoras de maquinaria básica de

confección textil de Cotacachi, son consistentes con estudios similares en la literatura y la percepción de los riesgos ergonómicos a los cuales están sometidos otros 48 operadores de confección textil de la misma localidad. Y el segundo, describir la efectividad del empleo de la app Ergo/IBV para teléfono durante el proceso de evaluación.

Los resultados alcanzados en el presente trabajo dan a conocer que todos los operadores de la maquinaria básica de confección que formaron de la evaluación ergonómica OCRA, presentan un índice de riesgo no aceptable, lo que significa que se requiere emprender acciones para mejorar las actuales condiciones del puesto de trabajo, incluso la supervisión médica y un mayor entrenamiento para garantizar la auto protección del trabajador. Como consecuencia para su salud, se proyecta una alta probabilidad de aparición de trastornos músculo esqueléticos de acuerdo la valoración del riesgo en los miembros superiores del cuerpo realizada. Los resultados presentados son consistentes con otros trabajos similares, como es el caso de la investigación de Ortiz et al., (2022), quienes tras evaluar los riesgos ergonómicos con los métodos RULA y REVA a un grupo de trabajadores de una pequeña empresa dedicada a la fabricación de prendas de vestir en Perú, determinaron un nivel de riesgo alto y medio para los operadores de maquinaria de confección. Aunque los métodos de evaluación de riesgos no son los mismos, existe una relación entre los riesgos evaluados: nivel de carga postural, fatiga y movimientos repetitivos.

De igual manera, los resultados presentados de la evaluación ergonómica OCRA de los cinco trabajadores, se vuelven aún más consistentes, al ser descritos junto a los resultados del estudio de opinión realizado a otro grupo de 48 operarios de maquinaria de confección de la localidad de Cotacachi, donde los datos demográficos elementales,

hacen posible una comparación de la empleabilidad porcentual de un 80% mujeres y 20% hombres, con rangos de edades de 25 a 35 años. En este sentido, el 80% de los sujetos respondientes desconocen sobre las medidas de autoprotección y cuidado ante riesgos ergonómicos en el puesto de trabajo asignado y, además, presentan síntomas de trastornos músculo esquelético como dolor de la espalda en un 74%, dolor de cuello en un 82%. Al mismo tiempo, estos datos presentan correspondencia con los resultados presentados por Pares y Martínez (2014), quienes tras haber evaluado la percepción de los trastornos músculo-esqueléticos y psíquicos experimentados en un grupo de 526 trabajadores de diferentes maquilas de la confección en el departamento de Cortés en Honduras, demuestran que el 62% de la muestra presentaba trastornos músculo esqueléticos debido al diseño ergonómico del puesto de trabajo y el exceso de cargas asignado durante la jornada laboral, así como un escaso nivel de conocimiento ante riesgos ergonómicos.

Considerando la consistencia de los resultados frente a trabajos similares realizados en el mismo sector productivo, es posible concluir que la introducción de la app Ergo/IBV, para teléfonos móviles, durante el desarrollo del trabajo, presenta efectividad en cuanto a la agilidad en la aplicación del método de evaluación lo que permite disminuir el tiempo, elimina el empleo de materiales de oficina, presenta soporte técnico al evaluador, etc. Contribuyendo de esta manera a la aplicación de la disciplina de la ergonomía en beneficio de los sectores productivos poco favorecidos en cuanto a formación en la prevención y control de los factores de riesgos ergonómicos.

IV. Conclusiones

Tras haber aplicado el método de evaluación ergonómica OCRA a cinco operadoras de la maquinaria básica de

confección, se determinó un índice de riesgo no aceptable para todos los casos, lo que significa que se requiere emprender acciones para mejorar las actuales condiciones del puesto de trabajo, para prevenir futuros trastornos musculoesqueléticos.

Los resultados alcanzados son consistentes con estudios similares y con la opinión de un grupo de otros 48 operadores de confección textil de la misma localidad, por lo que la introducción de la app Ergo/IBV, para teléfonos móviles, durante el desarrollo del trabajo, presenta efectividad cuando se trata de emprender procesos de evaluación ergonómica, lo que contribuye a la aplicación disciplinar de la ergonomía. Esto representa una ventaja para los sectores productivos poco favorecidos, como es el caso de las MIPYMES en cuanto a formación en la prevención y control de los factores de riesgos ergonómicos.

V. Referencias

- Colovic Gordana (2014). *Ergonomic design of workplace in garment industry*. Woodhead Publishing India.
- Colombini D., Occhipinti E., Grieco A., 2002. Risk assessment and management of repetitive movements and exertions of upper limbs. Elsevier. pp. 111-117.
- Cortés Cortés, Manuel E., Mur Villar, Norma, Iglesias León, Miriam, & Cortés Iglesias, Manuel. (2020). Algunas consideraciones para el cálculo del tamaño muestral en investigaciones de las Ciencias Médicas. *MediSur*, 18(5), 937-942. Epub 02 de octubre de 2020.
- Diego-Mas, J.A., Poveda-Bautista, R. Y Garzon-Leal, D.C., 2015. Influences on the use of observational methods by practitioners when identifying risk factors in physical work. *Ergonomics*, 58(10), pp. 1660-70.
- Occhipinti E., 1998. OCRA: a concise index for the assessment of exposure to repetitive movements of the upper limbs. *Ergonomics*, 41(9):1290-311.
- International Standard, NEN-EN-ISO 11228-3. *Ergonomics - Manual handling - Part 3: Handling of low loads at high frequency*. 2007.
- Instituto Nacional De Seguridad E Higiene En El Trabajo, Ministerio De Empleo Y Seguridad Social. *Tareas repetitivas II: evaluación del riesgo para la extremidad superior*.
- Díaz-Martínez, Marco A., Ruíz-Hernández, Santos, Román-Salinas, Reina V., & Estrada-Cadena, Gabriela. (2021). Aplicación móvil “AppIndustria 4.0”: una herramienta para la evaluación de las organizaciones en industria 4.0. *Información tecnológica*, 32(4), 53-64. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642021000400053>.
- Otto, Alena & Battaia, Olga. (2017). Reducing physical ergonomic risks at assembly lines by line balancing and job rotation: A survey. *Computers & Industrial Engineering*. 111. 10.1016/j
- Pérez H. Pantoja, Luis Manuel, & Martínez Alcántara, Susana. (2014). Trastornos músculo-esqueléticos y psíquicos en población trabajadora, maquila de la confección, Departamento de Cortés, Honduras. *Salud de los Trabajadores*, 22(2), 129-140. Retrieved March 11, 2023, from http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-01382014000200004&lng=en&tlng=es.
- Bran-Piedrahita, L., & Arboleda-Quiceno, J. S. (2022). Percepciones sobre los sistemas de seguridad y salud en el

- trabajo en organizaciones textiles de Medellín (Colombia): un análisis cualitativo. *Revista CEA*, 8(17),1-26. [fecha de Consulta 11 de marzo de 2023]. ISSN: 2390-0725. Recuperado de:
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=638170562006>
- Guasch Juan (2012). Boletín de prevención de riesgos laborales para la Formación Profesional No. 68. Trabajos de confección y moda. *Ergonomía Y Organización Del Trabajo*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. España.
- Jorge Ortiz Porras, Andrei Bancovich Erquínigo, Taddy Candia Chávez, Lisseth Huayanay Palma, Luis Ruez Guevara (2022). Método ergonómico para reducir el nivel de riesgo de trastornos musculoesqueléticos en una pyme de confección textil de Lima – Perú. *Industrial Data*.
- León-Duarte, Jaime A., Martínez-Cadena, Guillermo, & Olea-Miranda, Jaime. (2021). Sistema automatizado de análisis de movimiento para la detección del factor de riesgo ergonómico en la industria de la construcción. *Información tecnológica*, 32(6), 213-220. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642021000600213>
- Yépez-Moreira, R.I., Muyulema-Allaica, J.C., Ormaza-Morejón, F.M., y Sánchez-Macías, R.A. (2019). Instrumento de diagnóstico para el análisis y mejora de las operaciones de confección. *RIIT. Revista internacional de investigación e innovación tecnológica*, 7(39), 1-24
- Muñoz F, Miguel A, & Velasco A, Yolimar. (2015). Evaluación de posturas de trabajo en la actividad de archivar documentos de proyectos de investigación. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 19(76), 128-137. Recuperado en 11 de marzo de 2023, de
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212015000300003&lng=es&tlng=es.



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

Efecto alelopático de extractos de *Jatropha dioica* y *Flourensia cernua* en plantas de *Phaseolus vulgaris* como planta modelo en el control de malezas

Allelopathic effect of *Jatropha dioica* and *Flourensia cernua* extracts on *Phaseolus vulgaris* as a model plant for weed control

Coronado-Domínguez, R.², Arredondo-Valdés, R.², Barrera-Martínez, C.¹, Cabello-Anguiano, J.², Pérez-Rodríguez, P.³, Laredo-Alcalá, E.^{1*}

¹ Centro de Investigación para la Conservación de la Biodiversidad y Ecología de Coahuila (CICBEC). Universidad Autónoma de Coahuila, C.P. 25280, Saltillo, Coahuila, México.

² Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Coahuila, C.P. 25280, Saltillo, Coahuila, México.

³ Departamento de Ciencias del Suelo, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, 25315. México.

coronado.rocio@uadec.edu.mx; r-arredondo@uadec.edu.mx; cynthia_barrera@uadec.edu.mx; julia_c922@hotmail.com; pedro.perezr@uaaan.edu.mx; elan_laredo@uadec.edu.mx*

Innovación tecnológica: La extensa variedad de especies vegetales del semi-desierto y las propiedades bioactivas que presentan, las hacen atractivas para su aprovechamiento agroindustrial como controlador de malezas.

Área de aplicación industrial: Agricultura, control de malezas, bioherbicida.

Recibido: 05 diciembre 2023

Aceptado: 26 agosto 2024

Abstract

Weed infestation in cropping systems is a problem that affects agro-industrial producers worldwide and Mexico is no exception. Weeds affects crops directly, impacting productivity and causing excessive economic losses. Weed management and control is carried out mainly with the use of chemically synthesized herbicides such as glyphosate which although effective are associated with harmful effects on public health and the environment. Conversely, the use of herbicides of natural origin such as plant extracts are products that could be capable of exceeding the performance found in chemical products. In the present work, the plants *Jatropha dioica* and *Flourensia cernua*, native to the Chihuahuan semi-desert were tested for flavonoids, tannins, coumarins, purines and saponins, which have been reported to reach values up to 32% inhibition in the germination of *Phaseolus vulgaris* seeds; while in the post-emergence evaluation the extracts reached an efficacy

between 60 and 90 %, causing a moderate to severe effect on the treated seedlings. Use of vegetal material with bioherbicide properties could have an outstanding potential for weed control.

Keywords: Semi-desert, Vegetable extracts, Control, Weeds.

Resumen

La infestación de malezas en sistemas de cultivos es una problemática que afecta a productores agroindustriales a nivel mundial, México no es la excepción. Las malezas afectan los cultivos de manera directa impactando en la productividad y con pérdidas económicas excesivas. El manejo y control de malezas se lleva a cabo principalmente con el uso de herbicidas de síntesis química como el glifosfato, el cual a pesar de ser efectivo está relacionado con efectos nocivos para la salud pública y el medio ambiente. Por el contrario, el uso de herbicidas de origen natural como extractos vegetales son productos que podrían ser capaces de superar los rendimientos encontrados en los productos químicos. En el presente trabajo, las plantas originarias del semidesierto Chihuahuense *Jatropha dioica* y *Flourensia cernua* fueron analizadas encontrando en su composición flavonoides, taninos, cumarinas, purinas y saponinas, los cuales se ha reportado que alcanzaron valores de hasta 32% de inhibición en la germinación de semillas de *Phaseolus vulgaris*; mientras que en la evaluación post-emergencia los extractos alcanzaron una eficacia de entre 60 a 90 % causando efecto de moderado a severo en las plántulas tratadas. El uso de material vegetal con propiedades bioherbicidas podría tener un potencial sobresaliente para control de malezas.

Palabras clave: Semi-desierto, extractos vegetales, control, malezas.

1. Introducción

La organización de las naciones unidas (ONU), prevé que para el año 2050, la población mundial aumentara a 9.7 billones de habitantes, este incremento poblacional representa un enorme desafío en suministro de alimentos (1). Uno de los principales retos a superar es la reducción de pérdidas de cultivos por la infestación de malezas (2). Las malezas son todas aquellas plantas que interfieren en el adecuado crecimiento de cultivos compitiendo de manera directa por nutrientes, luz, agua y espacio (3). Estas plantas representan una enorme problemática incrementando los costos de producción entre un 5 a 20 % del gasto total (2). Su método de control principal es la aplicación de herbicidas, los cuales son sustancias o mezcla de sustancias capaces de dañar estructuras y mecanismos fisiológicos o alterar el

metabolismo por un tiempo suficientemente largo como para matar o reducir el crecimiento de las plantas (4). A nivel mundial, el uso de herbicidas está aceptado por las entidades reguladoras gubernamentales y es a la fecha un producto de alta dependencia. Tan solo en México se identificó un consumo de al menos 11.1 mil toneladas de herbicidas y defoliantes para el año 2017 (5).

El uso desmedido de estos productos se ha asociado con efectos negativos para la agricultura biodiversidad y la salud pública como desequilibrio en el balance bioquímico en suelo, alteraciones en el crecimiento, desarrollo y apareamiento de especies y cambios fisiológicos por daño genético, respectivamente (6).

Debido a los efectos que generan, la búsqueda de nuevas alternativas menos contaminantes se torna de gran importancia, en este caso en la naturaleza existen plantas que contienen ingredientes alternativos como ácido cinámico, cumarinas, flavonoides, taninos, terpenoides, esteroides, entre otros (7-10). La literatura describe a los compuestos mencionados anteriormente como aleloquímicos (11). La alelopatía es la sucesión de especies de hongos, algas, bacterias y plantas; específicamente en plantas, estas compiten entre sí liberando aleloquímicos que interfieren con la germinación, crecimiento, supervivencia y reproducción. Las interacciones alelopáticas entre plantas juegan un papel muy importante en la naturaleza ya que determinan la cantidad y distribución de las especies (12; 13). Además, estas interacciones en forma de extractos de plantas con alta especificidad pueden ser capaces de inhibir la germinación de semillas de malezas y afectar su desarrollo en post-emergencia sin dañar los cultivos (14; 15).

Dentro de la biodiversidad del semi-desierto Chihuahuense, existen plantas que han sido utilizadas tradicionalmente en la región principalmente como tratamientos medicinales, dos de las más importantes son la *Jatropha dioica* y *Flourensia cernua* o comúnmente conocidas como sangre de drago y hojaseén, respectivamente. La sangre de drago es un arbusto perenne que mide entre 30 a 150 cm de altura, con tallos semi-leñosos de color negro-rojizo y que segrega un látex incoloro que al contacto con el oxígeno se torna rojizo, de ahí el origen de su nombre (Figura 1a). En la medicina tradicional, la sangre de drago ha sido utilizada como tratamiento de enfermedades como úlceras, gastritis, hemorroides, manchas en la piel, dolor de dientes y encías, entre otros. En la actualidad y debido a su actividad

antioxidante, se ha indicado su acción contra cáncer de próstata, colon, piel y esófago (16; 17). De manera similar, la hojaseén (Figura 1b) es un arbusto y su uso medicinal se ha enfocado contra reumatismo, resfriado común, bronquitis y enfermedades gastrointestinales. Adicionalmente se ha reportado que los extractos de hojaseén tienen una potente actividad antibacterial y antifúngica (18-20). Por otro lado, en México, existen más de 100 familias catalogadas como malezas, algunas de ellas son Acanthaceae (*Anisacanthus quadrifidus*), Asteraceae (*Pseudognaphalium viscosum*; gordolobo), Bromeliaceae (*Tillandsia usneoides*; heno), Fabaceae (*Phaseolus vulgaris*; frijol silvestre), Martyniaceae (*Martynia annua*; uña de gato), entre otras (21). Algunos extractos vegetales han sido empleados para el control de algunas plantas consideradas como malezas como *Triticum aestivum* L., *Phaseolus vulgaris* L., *Sorghum halepense*, *Helianthus annuus*, *Parthenium hysterophorus* L y *Ambrosia artemisiifolia* L., por mencionar algunas (22-24). De entre las plantas utilizadas alrededor del mundo para control de malezas se encuentran aquellas pertenecientes a las zonas desérticas y semi-desérticas como *Haloxylon salicornicum*, *Tamarix mannifera*, *Citrullus colocynthis* (25; 26). Dentro de la vasta biodiversidad vegetal del semidesierto mexicano, la sangre de drago (*Jatropha dioica*) y la hojaseén (*Flourensia cernua*), poseen propiedades antibacterianas, antifúngicas y antioxidantes (27; 28).

Por lo anterior, en el presente trabajo se busca una alternativa eco amigable para la inhibición del desarrollo vegetal utilizando extractos de plantas del semidesierto Chihuahuense, como la sangre de drago (*Jatropha dioica*) y la hojaseén (*Flourensia cernua*) sobre el desarrollo de plantas de *Phaseolus vulgaris*.



Figura 1. Material vegetal de: a) Sangre de drago (*Jatropha dioica*) y b) Hojasén (*Flourensia cernua*).

2. Materiales y equipos

Para la formulación de extractos vegetales se adquirió etanol anhidro (99.5%) (Jalmex), ácido acético grado alimenticio (5.1%) (Menu solutions), ácido acético glacial (99%) (J.T. Baker) y Tween 80 (Sigma- Aldrich). Se utilizó agua destilada en todos los experimentos realizados.

3. Métodos experimentales

3.1. Obtención de material vegetal.

El material vegetal de *Flourensia cernua* (Fc) y *Jatropha dioica* (Jd) se identificó y recolectó en San Juan de la Saucedá, municipio de Ramos Arizpe (Longitud (dec): -101.283889; Latitud (dec): 25.726944) y Nuevo Atalaya (San Marcos) en el municipio de Cuatro Ciénegas (Longitud (dec): -102.159167; Latitud (dec): 26.805278), ambos en el estado de Coahuila, en la temporada otoño-invierno del año 2021. Estas se almacenaron en bolsas de papel hasta ser trasladadas al laboratorio. Una vez en las instalaciones correspondientes se procedió con el secado del material vegetal, el cual se colocó en una estufa a 30 °C durante 15 días, una vez transcurrido este periodo, los tejidos vegetales secos se molieron y trituraron. Las muestras se almacenaron en un lugar fresco y seco dentro de costales de nylon.

3.2. Formulación de extractos vegetales.

Los extractos se prepararon de acuerdo con el método reportado por Castillo y colaboradores (29), con algunas modificaciones, utilizando como solventes: etanol, agua y ácido acético. Se colocaron 10 g de materia prima seca y pulverizada en 100 mL de solvente, estos se mantuvieron en agitación magnética durante 30 min a temperatura ambiente (~ 25 °C). Posteriormente, las muestras se colocaron en un rotaevaporador en vacío a 45 °C con agitación de 150 rpm para eliminar el solvente; el residuo resultante se disolvió en una solución acuosa de Tween 80 (1% p/v). Los extractos obtenidos se mantuvieron a 4 °C durante 24 h y se filtraron (Whatman n°4) para su posterior caracterización (30; 31).

3.3. Identificación de grupos fitoquímicos y composición elemental en extractos vegetales de *Jatropha dioica* y *Flourensia cernua*.

Se realizó la identificación de fitoquímicos presentes en los extractos vegetales mediante pruebas cualitativas en presencia de alcaloides (reacción de Dragendorff y Sonneschain), glucósidos cianógenos (reacción de Grignard), azúcares reductores (reacción Feling y Benedict), saponinas

(reacción de Libermad Bouchard), taninos (reacción gelatina y FeCl_3), quinonas (reacción de hidróxido de amonio y Borntragüer) cumarinas (reacción de Erlich y de hidróxido de amonio), purinas y carotenoides (32).

La composición elemental de los polvos vegetales de *Fc* y *Jd* se estimó mediante fluorescencia de rayos X (equipo Panalytical, Epsilon 1, Almelo (Países Bajos)), que está integrado por un espectrómetro y utiliza el software Omnia (32).

3.4. Efectividad biológica de los extractos vegetales de *Fc* y *Jd* como inhibidoras de crecimiento

Inhibición preemergencia: Se utilizaron semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) las cuales se trataron con 0.5% de hipoclorito de sodio, durante 2 minutos. Cada extracto crudo se disolvió en una solución acuosa con Tween 80 (1% p/v). El papel filtro se humedeció con 2 ml de solución acuosa con Tween 80 como control y una solución del extracto crudo de 5 gL^{-1} para los tratamientos. Posteriormente se colocaron 10 semillas *Pv* en cada placa Petri. Para cada tratamiento se realizaron pruebas por triplicado. Todas las placas petri se colocaron al azar en una cámara de crecimiento a 24 ± 1 °C, en oscuridad. Durante 7 días se realizó un conteo de plantas germinadas y se midió la longitud de sus hipocótilos y raíces. La tasa de inhibición de crecimiento (IC) se calculó con la siguiente ecuación (33):

$$IC (\%) = \frac{T}{C} * 100$$

Donde T es la longitud de las raíces o hipocótilos de las semillas tratadas, y C representa la longitud de las raíces o hipocótilos de las plántulas control.

Inhibición post-emergencia: Se utilizó la metodología descrita por Rojas-Garcidueñas

(34). Se mezcló 50% de peatmoss con 50% de sustrato comercial para jardinería. Después, se esterilizó la tierra en una autoclave vertical. Una vez listo, se llenaron las macetas necesarias con tres cuartas partes de sustrato y a cada una se le colocaron 10 semillas. Los recipientes se mantuvieron en una cámara bioclimática y se ordenaron en base a un diseño completamente al azar.

La evaluación de post-emergencia inicio cuando las plantas de *Pv* presentaron al menos 3 hojas, las cuales se rociaron con 10 ml de cada una de las siguientes soluciones: extracto vegetal a 5000 gL^{-1} (T1), extracto vegetal a 2500 gL^{-1} (T2), extracto vegetal a 1250 gL^{-1} (T3), agua destilada como control negativo y herbicida biológico comercial (Glufosinato de amonio) (TARANG 150 SL; UPL) como control positivo, utilizando cada planta como unidad experimental y cada tratamiento se realizó por triplicado. La metodología descrita anteriormente fue utilizada para cada uno de los materiales vegetales y solventes extractantes.

El porcentaje de eficacia (PE) se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$PE (\%) = \frac{N}{T} * 100$$

Donde N es el número de hojas necróticas o marchitas, y T representa el número total de hojas en la planta (33).

El control de efectividad de los tratamientos con extractos de *Jatropha dioica* y *Flourensia cernua* fueron evaluados visualmente comparándolos con el control positivo y negativo mediante la escala del Consejo Europeo de Investigación de Malezas (CEIM) (tabla 1), en donde se establece que la fitotoxicidad de la planta se evalúa a través de la comparación de su estado vegetativo con y sin tratamiento por efecto de un herbicida (35; 36).

Tabla 1. Escala del CEIM para la clasificación de la tolerancia de cultivos y la eficacia del herbicida aplicado.

Clasificación EWRC	Tolerancia del cultivo	Eficacia	Control de maleza (%)
1	Sin efecto	Efecto completo (muerte total)	100
2	síntomas muy leves, coloración amarillenta apenas visible	Muy buena	99.9-98.0
3	Síntomas leves, coloración amarillenta y retraso en el crecimiento (efectos reversibles)	Buena	97.9-95.0
4	Clorosis sustancial o retraso en el crecimiento, efectos probablemente reversibles	Suficiente	94.9-90.0
5	Clorosis fuerte/retraso en el crecimiento, adelgazamiento de soporte	Moderada	89.9-82.0
6	Aumento de la severidad del daño	Regular	81.9-70.0
7	Síntomas fuertes, aumento de la severidad del daño	Pobre	69.9-55.0
8	Síntomas muy fuertes, daño severo hasta destrucción completa	Muy pobre	54.9-30.0
9	Pérdida total de plantas y rendimiento	Sin efecto	29.9-0

3.5. Análisis estadístico.

Los resultados se analizaron con el software SAS, utilizando un análisis de varianza de una vía (ANOVA) completamente al azar, seguido de la prueba de rango múltiple (Tukey), las diferencias entre las medias individuales se consideraron significativas solo si $p < 0.05$ (33).

4. Resultados y discusión

4.1. Obtención, formulación y caracterización de extractos vegetales de *Jatropha dioica* y *Flourensia cernua*.

Mediante la caracterización de compuestos metabólicos presentes en los extractos de Fc y Jd formulados con diferentes solvente y agua, se demostró la presencia de flavonoides y quinonas en todas las formulaciones. Específicamente en los extractos de Fc se mostró la presencia de taninos y purinas en todos los tratamientos. Por otra parte, en los tratamientos de Jd se observó en todos los

casos la presencia de cumarinas y saponinas (Tabla 2).

En 2018, Terrazas y col (37), reportaron una alta concentración de flavonoides en extractos de sangre de drago. Mientras que, para el mismo extracto, Gutiérrez-Tlahque (38), revelaron la presencia de ésteres alquílicos de ácido ferúlico, cetonas diterpénicas y fenoles. Con relación a la hojaseén, algunas investigaciones como la de Aranda (20), estudiaron la composición química de la hojaseén, encontrando un alto contenido de flavonoides, monoterpenos (mirceno y limoneno) y sesquiterpenos (β -cariofileno y α -humuleno) (39). Como se mencionó con anterioridad, los aleloquímicos provenientes de plantas pueden ser considerados una estrategia sustentable e innovadora para el control de malezas ya que estos compuestos pueden utilizarse en forma de extractos, fundamento principal para la fabricación de bioherbicidas (40).

Tabla 2. Identificación cualitativa de compuestos fitoquímicos presentes en extractos de ácido acético (COO⁻), acuosos (H₂O) y etanólicos (EtOH) de *Flourensia cernua* y *Jatropha dioica*.

Metabolito	<i>Jatropha dioica</i>			<i>Flourensia cernua</i>		
	COO ⁻	H ₂ O	EtOH	COO ⁻	H ₂ O	EtOH
Alcaloides	-	+	-	+	-	+
Carbohidratos	+	+	+	+	+	+
Flavonoides	+	+	+	+	+	+
Glucósidos cianogénicos	-	+	-	-	-	-
Cumarinas	+	+	+	+	-	-
Azúcares reductores	-	-	-	-	-	-
Saponinas	+	+	+	-	+	-
Taninos	-	+	+	+	+	+
Quinonas	+	+	+	+	+	-
Purinas	-	+	+	+	+	+
Carotenoides	-	+	-	-	+	-

Extracto de ácido acético (COO⁻), acuoso (H₂O) y etanólico (EtOH). Ausencia (-); Presencia (+).

4.2. Efectividad biológica de los extractos vegetales de *FC* y *Jd* como inhibidoras de crecimiento.

Inhibición preemergencia: las pruebas mostraron que los extractos de *Fc* y *Jd* presentan efecto inhibitorio en la germinación de las semillas de *Pv* con respecto al control negativo (agua destilada), sin embargo, se observó que este efecto puede verse influenciado en base a la concentración aplicada. Se demostró que la mayor concentración utilizada (500 gL⁻¹) para *Fc* y con los tres compuestos extractantes, generó los más altos porcentaje de inhibición (3.35% H₂O; 15.76% CH₃COO⁻; 32.28% EtOH). Por otra parte, los extractos de *Jd* mostraron una relación inversa entre la concentración de los extractos y los porcentajes de inhibición, siendo el extracto etanólico a 1250 gL⁻¹ quien presento el mayor porcentaje de inhibición (24.54%) (Figura 2).

Este comportamiento ya ha sido reportado en la literatura. En 2022, Dai y colaboradores reportaron que el efecto inhibitorio de semillas de verde de Shanghái, trigo y pasto de corral fue directamente proporcional a la concentración utilizada en extractos acuosos de *Flaveria bidentis* (41). Por otro lado, el mismo año, Sawadogo/Ilboudo y colaboradores indicaron que algunos extractos con las que trabajaron (*A. indica*, *J. curcas*, *J. gossypifolia*, *L. inermis*, *C. obtusifolia*, *C. retusa*, *P. amarus* y *B. aegyptiaca*) inhibieron por completo la germinación de semillas de *Striga hermonthica*, mientras que otros cinco extractos (*E. hirta*, *A. indica*, *K. senegalensis*, *M. oleifera*, *E. camaldulensis*) aplicados a las mismas semillas estimularon su crecimiento hasta en 60% dando a conocer una estrategia favorecedora con gran potenciar agronómico (42).

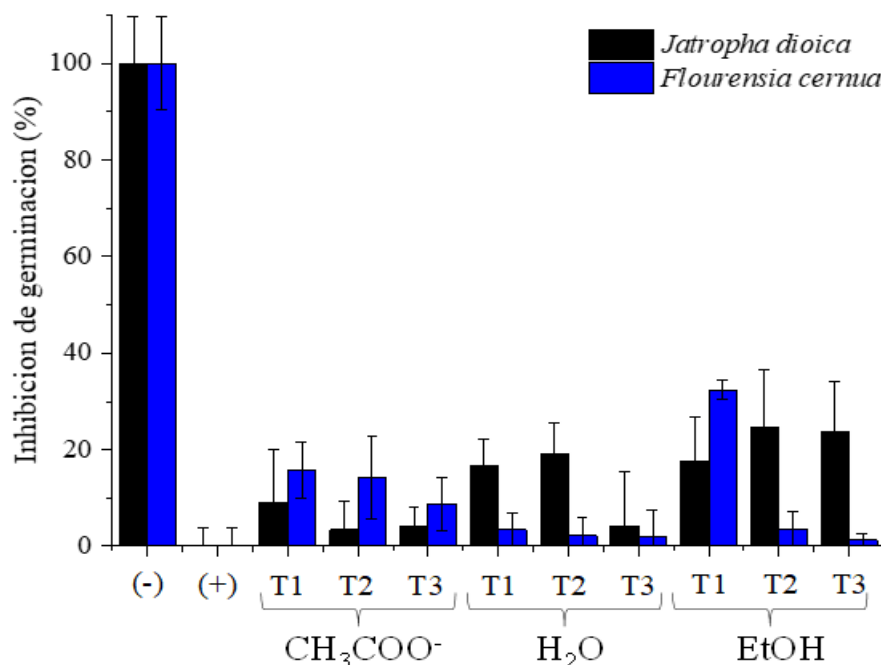


Figura 2. Evaluación del porcentaje de inhibición de los extractos vegetales de ácido acético, acuosos y etanólicos de *Jatropha dioica* y *Flourensia cernua* sobre *Phaseolus vulgaris*. 5000 gL⁻¹(T1), 2500 gL⁻¹ (T2), 1250 gL⁻¹ (T3), agua destilada (-) y Glufosinato de amonio (+).

Los compuestos aleloquímicos presentes en los extractos vegetales como flavonoides, saponinas, fenoles, glucósidos, entre otros; pueden alterar la estructura celular interfiriendo en las actividades de la membrana, la respiración, fotosíntesis y el consumo de nutrientes, por lo que, este podría ser el mecanismo primario de los bioherbicidas para inhibir la germinación de semillas, el crecimiento de raíces y de las plántulas (43-45). De los hallazgos encontrados en el presente trabajo, se puede resaltar que los extractos vegetales que mostraron mayor porcentaje inhibitorio sobre las semillas de frijol fueron etanólicos, esto se podría deber a que el etanol pudiera

acumularse en las semillas en el proceso de imbibición de los extractos, causando disminución en la tasa de germinación e incluso la inhibición de estas (46).

Inhibición post-emergencia: en comparación y analizando con la escala del CEIM, se determinó que los tratamientos utilizados en ese experimento lograron generar una eficiencia de pobre/moderada a suficiente para la inhibición de *Pv* en condiciones de invernadero. Siendo los tratamientos formulados con ácido acético los que generaron un efecto más severo sobre el tejido vegetal (figura 2).

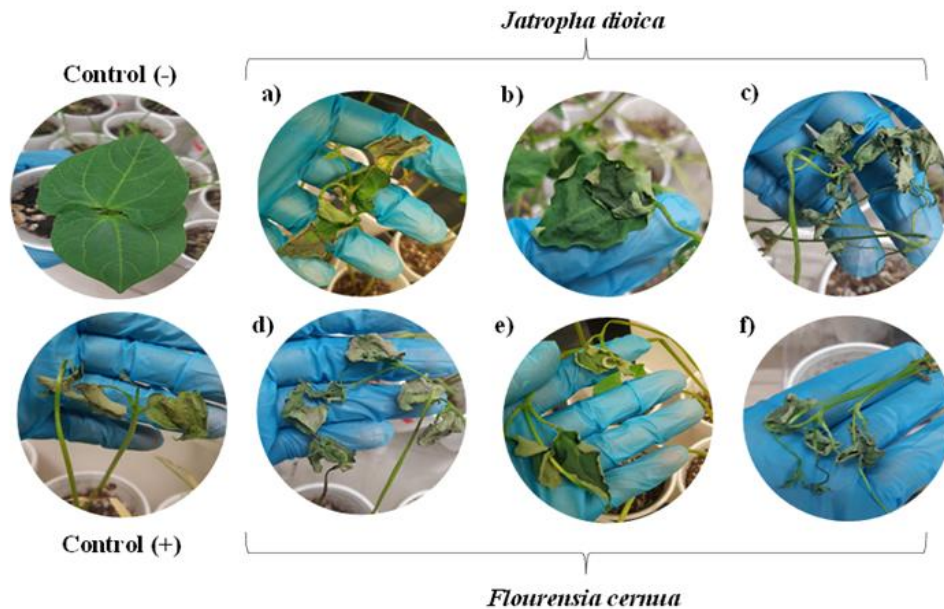


Figura 2. Daño ocasionado a plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) por extractos de ácido acético (a y d), acuosos (b y e) y etanólicos (c y f) de *Jatrophia dioica* y *Flourensia cernua*.

Dentro del género *Jatropha*, existen investigaciones que reportan el efecto de extractos acuosos y alcohólicos sobre la germinación de semillas y el crecimiento de las plántulas. En 2013, Reichel (47), utilizaron extracto acuoso y alcohólico de *Jatropha curcas* L., evaluando su efecto sobre semillas y plántulas de trigo. Los hallazgos reportados fueron que los extractos alcohólicos presentan mayor efecto inhibitorio sobre la germinación de trigo que los extractos acuosos. Adicionalmente y de manera similar a los resultados obtenidos en el presente trabajo, los autores mencionados reportan que el efecto es más severo y marcado en el crecimiento de la plántula, que en la germinación de las semillas (pre-emergencia) debido a que los metabolitos secundarios (aleloquímicos) presentes en los extractos pueden inducir síntomas de necrosis en raíz, mientras que las semillas utilizan sus reservas como protección. Por otro lado, Khattak y colaboradores (48), reportaron que el uso de extractos acuosos de *Jatropha curcas* L., en bajas concentraciones, estimulo de manera positiva la germinación de

semillas y el crecimiento de plántulas de trigo.

5. Conclusiones.

Los extractos vegetales obtenidos a partir de las plantas del semi-desierto Chihuahuense sangre de drago (*J. dioica*) y hojasén (*F. cernua*) presentan diversos compuestos alelopáticos capaces de inhibir la germinación y desarrollo de las semillas de *Phaseolus vulgaris*. De forma similar, los compuestos obtenidos a partir de la extracción con ácido acético cuentan con la capacidad, según la escala del CEIM, de inhibir moderadamente el desarrollo del tejido vegetal en plántulas de frijol.

6. Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo al desarrollo de este manuscrito mediante el financiamiento del proyecto número de referencia 320692 aprobado en la Convocatoria de Ciencia Básica y/o Ciencia de Frontera Modalidad: Paradigmas y Controversias de la Ciencia 2022.

7. Referencias

1. United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2022). World Population Prospects 2022: Summary of Results. UN DESA/POP/2022/TR/NO. 3.
2. Lima Monteiro, Alex., de Freitas Souza, Matheus., Anizio Lins, Hamurábi., da Silva Teófilo, Taliane Maria., Barros Júnior, Aurélio Paes., Valadão Silva, Daniel., Mendonça, Daniel. (2021). A new alternative to determine weed control in agricultural systems based on artificial neural networks (ANNs). *Field Crops Research*, 263. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108075>.
3. Riemens, Marleen., Sønderskov, Mette., Moonen, Anna-Camilla., Storkey, Jonathan., Kudsk, Per. (2022). An Integrated Weed Management framework: A pan-European perspective. *European Journal of Agronomy*, 133. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126443>.
4. Álvaro, A. (2007). Herbicidas: Modos y mecanismos de acción en plantas. Consultado 20 de septiembre de 2021. Disponible en: https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/47809/mod_resource/content/1/Herbicidas%20Modos%20y%20Mec%20accion%20Anzalone.pdf
5. CEDRSSA. (2020). Uso y regulación de herbicidas en México. Consultado 24 septiembre de 2021. Disponible en: <http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/76Herbicidas.pdf>
6. Marin-Morales, M., Ventura-Camargo, B., Hoshina, M. (2013). Toxicity of Herbicides: Impact on Aquatic and Soil Biota and Human Health.
7. Radhakrishnan, R., Alqarawi, A. A., Abdallah, E. F. (2018). Bioherbicides: Current knowledge on weed control mechanism. *Ecotoxicology and environmental safety*, 158: 131-138.
8. Kato-Noguchi, H., Suzuki, M., Noguchi, K., Ohno, O., Suenaga, K. Laosinwattana, C. (2016), A Potent Phytotoxic Substance in *Aglaia odorata* LOUR. *Chem. Biodiversity*, 13, 549-554. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201500175>
9. Hasan, M., Ahmad-Hamdani, M. S., Rosli, A. M., Hamdan, H. (2021). Bioherbicides: An Eco-Friendly Tool for Sustainable Weed Management. *Plants*, 10 (6), 1212. <https://doi.org/10.3390/plants10061212>
10. Anwar, S., Naseem, S., Karimi, S., Asi, M.R., Akrem, A., Ali, Z (2021). Bioherbicidal Activity and Metabolic Profiling of Potent Allelopathic Plant Fractions Against Major Weeds of Wheat—Way Forward to Lower the Risk of Synthetic Herbicides. *Front. Plant Sci.* 12:632390. doi: 10.3389/fpls.2021.632390
11. Yunes, J.S. (2019). Chapter 22 - Cyanobacterial Toxins. Editor(s): A.K. Mishra, D.N. Tiwari, A.N. Rai. *Cyanobacteria*, Academic Press. 443-458. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814667-5.00022-2>.
12. Korres, N.E., Burgos, N.R., Travlos, I., Vurro, M., Gitsopoulos, T.K., Varanasi, V.K., Duke, S.O., Kudsk, P., Brabham, C., Rouse, C.E., Salas-Perez, R. (2019). Chapter Six - New directions for integrated weed management: Modern technologies, tools and knowledge discovery. Editor(s): Donald L. Sparks.

- Advances in Agronomy. Academic Press. 155, 243-319. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.01.006>.
13. Stewart, A.J., Stewart, R.F. (2008). Phenols, Editor(s): Sven Erik Jørgensen, Brian D. Fath, Encyclopedia of Ecology, Academic Press, 2682-2689. <https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00417-1>.
 14. Tucuch-Pérez, M.A., Arredondo-Valdés, R., Hernández-Castillo, F.D. (2020). Antifungal activity of phytochemical compounds of extracts from Mexican semi-desert plants against *Fusarium oxysporum* from tomato by microdilution in plate method. Nova scientia, 12(25), 00007. Epub 17 de febrero de 2021. <https://doi.org/10.21640/ns.v12i25.2345>
 15. El-Mergawi, R.A., Al-Humaid, A.I. (2019). Searching for natural herbicides in methanol extracts of eight plant species. Bull Natl Res Cent. 43, 22. <https://doi.org/10.1186/s42269-019-0063-4>
 16. Martínez, G Almaguer, P Vazquez-Alvarado, A Figueroa, C Zúñiga, A Hernández-Ceruelos. 2014. Análisis fitoquímico de *Jatropha dioica* y determinación de su efecto antioxidante y quimioprotector sobre el potencial genotóxico de ciclofosfamida, daunorrubicina y metilmetanosulfonato evaluado mediante el ensayo cometa. Bol Latinoam Caribe Plant Med Aromat 13(5): 437 – 457.
 17. Ramírez Moreno, A., Serrano Gallardo, L. B., Barragán Ledezma, L. E. B. L., Quintanar Escorza, M. A., Arellano Pérez-Vertti, R. D., & Delgadillo Guzmán, D. (2016). Determinación de los compuestos polifenólicos en extractos de *Jatropha dioica* y su capacidad antioxidante. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 47(4), 42-48. [fecha de Consulta 5 de Diciembre de 2022]. ISSN: 1870-0195. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57956612004>
 18. Guerrero-Rodríguez, Eugenio, Solís-Gaona, Susana, Hernández-Castillo, Francisco Daniel, Flores-Olivas, Alberto, Sandoval-López, Víctor, & Jasso-Cantú, Diana. (2007). Actividad Biológica in vitro de Extractos de *Flourensia cernua* D.C. en Patógenos de Postcosecha: *Alternaria alternata* (Fr.:Fr.) Keissl., *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc. y *Penicillium digitatum* (Pers.:Fr.) Sacc. *Revista mexicana de fitopatología*, 25(1), 48-53. Recuperado en 05 de diciembre de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092007000100007&lng=es&tlng=es.
 19. Molina-Salinas, G. M., Peña-Rodríguez, L. M., Mata-Cárdenas, B. D., Escalante-Erosa, F., González-Hernández, S., Torres de la Cruz, V. M., Martínez-Rodríguez, H. G., & Said-Fernández, S. (2011). *Flourensia cernua*: Hexane Extracts a Very Active Mycobactericidal Fraction from an Inactive Leaf Decoction against Pansensitive and Panresistant *Mycobacterium tuberculosis*. *Evidence-based complementary and alternative medicine: eCAM*, 2011, 782503. <https://doi.org/10.1155/2011/782503>
 20. Aranda-Ledesma, N.E.; González-Hernández, M.D.; Rojas, R.; Paz-González, A.D.; Rivera, G.; Luna-Sosa, B.; Martínez-Ávila, G.C.G. (2022). Essential Oil and

- Polyphenolic Compounds of *Flourensia cernua* Leaves: Chemical Profiling and Functional Properties. *Agronomy*, 12, 2274. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102274>
21. CONABIO (Consejo Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). Malezas de México. <http://www.conabio.gob.mx/malezas-demexico/2inicio/home-malezas-mexico.htm>
 22. Melgar-Rodríguez M. (2018). Tesis: Evaluación del efecto herbicida de *Chloris gayana* Kunth y aceite de coco sobre semillas de plántula de trigo *Triticum aestivum* L y frijol *Phaseolus vulgaris* L como plantas indicadoras. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de parasitología. Saltillo, Coahuila. México.
 23. Castro-Carvajal, J.M. (2017). Tesis: Herbicidas en maíz, residualidad e impacto sobre la microbiota del suelo. Universidad Autónoma de Sinaloa. Facultad de agronomía. Culiacán, Sinaloa. México.
 24. Muñiz-Moreno, L. (2017). Tesis: Manejo de herbicidas sintéticos y extractos vegetales para control de malezas en cultivos básicos: maíz, frijol y sorgo. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de agronomía. General Escobedo, Nuevo León. México.
 25. El-Mergawi, R.A., Al-Humaid, A.I. (2019). Searching for natural herbicides in methanol extracts of eight plant species. *Bull Natl Res Cent* 43, 22. <https://doi.org/10.1186/s42269-019-0063-4>
 26. Iqbal, J., Rehmani, M.I.A., Sagheer, S. Kaleem, N., Muneer, J. (2018). Herbicidal Potential of Some Dry Land Plants Against *Lathyrus aphaca* (L.), Winter Season Weed. *Planta Daninha*, v38:e020171297. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582020380100001>.
 27. Araujo-Espino D.I., Lazalde-Ramos B.P., Zamora-Perez A.L. (2023). Phytochemical and pharmacological properties of *Jatropha dioica*. *J Plant Sci Phytopathol*. 7: 010-013. DOI: 10.29328/journal.jpssp.1001098.
 28. Guerrero-Rodríguez, E., Solís-Gaona, S., Hernández-Castillo, F.D., Flores-Olivas, A., Sandoval-López, V. (2007). Actividad Biológica in vitro de Extractos de *Flourensia cernua* D.C. en Patógenos de Postcosecha: *Alternaria alternata* (Fr.:Fr.) Keissl., *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc. y *Penicillium digitatum* (Pers.:Fr.) Sacc. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 25 (1), 48-53.
 29. Castillo, F., Hernández, D., Gallegos, G., Mendez, M., Rodríguez, R., Reyes, A., and Aguilar, C. N. (2010). *In vitro* antifungal activity of plant extracts obtained with alternative organic solvents against *Rhizoctonia solani* Kühn. *Industrial Crops and Products*, 32(3): 324-328.
 30. Falleh H, Ksouri R, Chaieb K, Karray-Bouraoui N, Trabelsi N, Boulaaba M, Abdelly C. (2008). Phenolic composition of *Cynara cardunculus* L. organs, and their biological activities. *C R Biol*. May;331(5):372-9. doi: 10.1016/j.crv.2008.02.008. Epub 2008 Mar 17. PMID: 18472083.
 31. Ben Kaab, S., Lins, L., Hanafi, M., Bettaieb Rebey, I., Deleu, M., Fauconnier, M. L., Ksouri, R., Jijakli, M. H., & Clerck, C. (2020). *Cynara cardunculus* Crude Extract as a Powerful Natural Herbicide and Insight into the Mode of Action of Its Bioactive Molecules. *Biomolecules*,

- 10(2), 209.
<https://doi.org/10.3390/biom10020209>
32. García, J. D., Anguiano-Cabello, J. C., Arredondo-Valdés, R., Candido-Toro, C. A., Martínez-Hernández, J. L., Segura-Ceniceros, E. P., Govea-Salas, M., González-Chávez, M. L., Ramos-González, R., Esparza-González, S. C., Ascacio-Valdés, J. A., López-Badillo, C. M., & Ilyina, A. (2021). Phytochemical characterization of *phoradendron bollanum* and *viscum album* subs. *Austriacum* as mexican mistletoe plants with antimicrobial activity. *Plants*, 10(7), 1–16.
<https://doi.org/10.3390/plants10071299>
 33. Kaab, S.B.; Rebey, I.B.; Hanafi, M.; Hammi, K.M.; Smaoui, A.; Fauconnier, M.L.; Ksouri, R. (2020). Screening of Tunisian plant extracts for herbicidal activity and formulation of a bioherbicide based on *Cynara cardunculus*. *South African Journal of Botany*, 128: 67-76.
 34. Rojas-Garcidueñas, M., & Gámez-Gonzales, H. (2002). Herbicidas de origen natural. *Ciencia*, 5(2), 160–164.
 35. Dear B. S., Sandral G. A., Spencer D., Khan M. R. I. Higgins T. J. V. (2003) The tolerance of three transgenic subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.) lines with the bxn gene to herbicides containing bromoxynil. *Australian Journal of Agricultural Research* 54, 203-210.
<https://doi.org/10.1071/AR02134>.
 36. Ekhatior, F & Ola, Oluwaseun & Ikuenobe, C. (2018). Effectiveness of tank mixture of glyphosate plus metsulfuron for weed control in a juvenile oil palm in Nigeria. 10.13140/RG.2.2.22890.77768.
 37. Terrazas-Hernández J, Santos-López EM, Cariño-Cortés R, Jiménez-Alvarado R, López-Palestina CU, Hernández-Fuentes AD. Effects of Sterilization on Bioactives of *Jatropha dioica* and *Opuntia oligacantha* Extracts, and on Antimicrobial Capacity against *Streptococcus mutans*. *Applied Sciences*. 2018; 8(12):2516.
<https://doi.org/10.3390/app8122516>
 38. Gutiérrez-Tlahque, Jorge & Aguirre-Mancilla, Cesar L. & López-Palestina, César Uriel & Sánchez Fernández, Rosa & Hernández-Fuentes, Alma & Torres-Valencia, J. (2019). Constituents, Antioxidant and Antifungal Properties of *Jatropha dioica* var. *dioica*. *Natural Product Communications*. 14. 1934578X1985243.
[10.1177/1934578X19852433](https://doi.org/10.1177/1934578X19852433).
 39. Tellez, M., Estell, R., Fredrickson, E., Powell, J., Wedge, D., Schrader, K., & Kobaisy, M. (2001). Extracts of *Flourensia cernua* (L): volatile constituents and antifungal, antialgal, and antitermite bioactivities. *Journal of chemical ecology*, 27(11), 2263–2273.
<https://doi.org/10.1023/a:1012283005014>
 40. Kaur, S., Dhanda, S., Yadav, A., Sagwal, P., Yadav, D.V., Chauhan, B.S. (2022). Chapter Six - Current status of herbicide-resistant weeds and their management in the rice-wheat cropping system of South Asia, Editor(s): Donald L. Sparks, *Advances in Agronomy*, Academic Press, 172, 307-354.
<https://doi.org/10.1016/bs.agron.2021.10.004>.
 41. Dai, L., Wu, L., Zhou, X. *et al.* 2022. Effects of water extracts of *Flaveria bidentis* on the seed germination and seedling growth of three plants. *Sci*

- Rep 12, 17700.
<https://doi.org/10.1038/s41598-022-22527-z>
42. Sawadogo/Ilboudo, T.C., Yonli, D., Sourabie, S. *et al.* 2022. Aqueous extracts from indigenous plant in Burkina Faso with bio-herbicide properties to reduce *Striga hermonthica* (Del.) Benth propagation. *CABI Agric Biosci* 3, 61. <https://doi.org/10.1186/s43170-022-00129-z>
 43. Martínez Cárdenas, C. A., Balaguera-López, H. E. and Fonseca Carreño, J. A. (2022). Bioherbicidal activity of seed extract of *Campomanesia lineatifolia* on the weed *Sonchus oleraceus* L. *Agronomía Colombiana*, 40(1), 49–57. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v40n1.98502>
 44. Gniazdowska, A., & Bogatek, R. (2005). Allelopathic interactions between plants. Multi site action of allelochemicals. *Acta Physiologiae Plantarum*, 27, 395–407.
 45. Jabran, K. (2017). Wheat Allelopathy for Weed Control. In: Manipulation of Allelopathic Crops for Weed Control. SpringerBriefs in Plant Science. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-53186-1_2
 46. Chen, Y., Althiab Almasaud, R., Carrie, E., Desbrosses, G., Binder, B. M., Chervin, C. (2020). Ethanol, at physiological concentrations, affects ethylene sensing in tomato germinating seeds and seedlings. *Plant science: an international journal of experimental plant biology*, 291, 110368. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110368>
 47. Reichel, Tharyn & Barazetti, J.F. & Stefanello, Suzana & Paulert, R. & Zonetti, Patricia. (2013). Allelopathy of leaf extracts of jatropha (*Jatropha curcas* L.) in the initial development of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Idesia*. 31. 45-52.
 48. Khattak, Adnan & Ullah, F. & Bokhari, T. & Wazir, S. & Shinwari, Zabta. (2015). Allelopathic Potential of *Jatropha Curcas* L. Leaf Aqueous Extracts on Seed Germination and Early Seedling Growth of Wheat. *Pakistan Journal of Botany*. 47. 2449-2454.



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

Desarrollo de pan de trigo enriquecido con harina de *Pleurotus ostreatus* utilizando su extracto enzimático

Development of wheat bread enriched with *Pleurotus ostreatus* flour using its enzyme extract

Losoya-Sifuentes, C.^a, Tapia-Solís, M.^b, Sígala-Laguna, S.^b, Rodríguez-Jasso R.M.^a, Loredó-Treviño, A.^a, Ruiz, H.A.^a, Cruz, M.^{b*}, Belmares, R.^{a*}

^a Departamento de Investigación en Alimentos; Universidad Autónoma de Coahuila. C.P. 25280, Saltillo, Coahuila, México. <https://orcid.org/0000-0001-8971-0639>; <https://orcid.org/0000-0002-2857-3340>; <https://orcid.org/0000-0003-0917-0324>; <https://orcid.org/0000-0003-1362-4691>.

^b Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos; Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. C.P. 25315, Buenaventura, Coahuila, México. <https://orcid.org/0000-0002-2875-8097>.
carolinalosoya@uadec.edu.mx; marlen.tapia10@hotmail.com; phanita@outlook.es; rrodriguezjasso@uadec.edu.mx; araceliloredo@uadec.edu.mx; hector_ruiz_leza@uadec.edu.mx; myke13_80@hotmail.com*; ruthbelmares@uadec.edu.mx*

Innovación tecnológica: Pan enriquecido con harina de hongo comestible y agregando el extracto enzimático del hongo.

Área de Aplicación: Ciencias de los alimentos, biotecnología alimentaria, nutrición humana.

Recibido: 06 julio 2020

Aceptado: 01 septiembre 2023

Abstract

Baking technology has evolved with the aim of increasing the quality of products. For this reason, in this study, formulations enriched with edible mushroom flour (*Pleurotus ostreatus*) and enzymatic extracts were evaluated as ingredients to improve sensory characteristics in the preparation of the dough and obtain beneficial products for the consumer (functional bread). Amylolytic enzymes are among the most widely used ingredients, since they improve the sensory qualities of bread and increase its shelf life. The edible mushroom *Pleurotus ostreatus* (Po) is a source of high biological value protein, rich in fiber (β -glucans), vitamins and minerals. In addition, it has bioactive compounds with immunomodulatory activity, hypoglycemic and prebiotic effects that can benefit people at risk or suffering from a chronic disease. The aim of the present work has

to evaluate the effect of the enzyme extract in conjunction with Po flour to improve the sensory, nutritional and physicochemical characteristics of an enriched wheat bread. First, Po flour was obtained and its nutritional characteristics were evaluated, then bread formulations were developed substituting 5, 10, 15 and 20% of the wheat flour with Po flour, in addition to the formulation without Po as a control. Finally, the addition of 5% of enzyme extract with amylases activity of $3896 \text{ UE} \cdot \text{L}^{-1}$, previously obtained by fermentation using *Pleurotus ostreatus* in solid state with wheat straw as a substrate was evaluated. The proximal analysis of Po powder and bread formulations was performed according to the standardized AOAC methods. The results showed that Po flour is a source of essential nutrients including protein (22.3 g / 100 g), fiber (5.5 g / 100g) and minerals (9.9 g / 100g), in addition to carbohydrates (60.3 g / 100g) and low lipid content (1.9 g / 100g). The addition of 20% Po flour in the formulations resulted in significant ($p > 0.05$) increases in fiber content of bread (0.00 to 2.26 g / 100g). The addition of enzyme the volume of the bread. These results indicate that Po and its enzyme extract can be used as an alternative ingredient to enrich the nutritional value and quality of wheat bread.

Keywords: Edible fungus, Flour, *Pleurotus ostreatus*, Wheat bread.

Resumen

La tecnología de panificación ha evolucionado con el objetivo de incrementar la calidad de los productos, por esta razón en el presente estudio se evaluaron formulaciones enriquecidas con harina de hongo comestible (*Pleurotus ostreatus*) y extractos enzimáticos como ingredientes para mejorar características sensoriales en la elaboración de la masa y obtener productos benéficos para el consumidor (pan funcional). Las enzimas amilolíticas se encuentran entre los ingredientes más utilizados, ya que mejoran las cualidades sensoriales del pan y aumentan su vida de anaquel. *Pleurotus ostreatus* (Po) es una fuente de proteínas de alto valor biológico, rico en fibra (β -glucanos), vitaminas y minerales. Además, tiene compuestos bioactivos con actividad inmunomoduladora, efectos hipoglucémicos y prebióticos que pueden beneficiar a las personas en riesgo o que padecen una enfermedad crónica. El objetivo del presente trabajo, fue evaluar el efecto del extracto enzimático en conjunto con harina de Po para mejorar las características sensoriales, nutrimentales y fisicoquímicas de un pan de trigo enriquecido. Primeramente, se obtuvo harina de Po y se evaluaron las características nutricionales, posteriormente se desarrollaron formulaciones de pan sustituyendo en un 5, 10, 15 y 20 % de la harina de trigo por harina de Po, además de la formulación sin Po como control. Finalmente se evaluó la adición de extracto enzimático con actividad amilasa de $3896 \text{ UE} \cdot \text{L}^{-1}$ que previamente fue obtenido mediante fermentación utilizando *Pleurotus ostreatus* en estado sólido con paja de trigo como sustrato. El análisis proximal de las formulaciones de harina de Po y de los panes se realizó de acuerdo a los métodos de la AOAC. Los resultados mostraron que la harina de Po es una fuente de proteína (22.3 g / 100 g), fibra (5.5 g / 100g) y minerales (9.9 g / 100g), además de carbohidratos (60.3 g / 100g) y bajo contenido de lípidos (1.9 g / 100g). Se puede concluir que la adición del 20% de harina Po en las formulaciones resultó en aumentos significativos ($p > 0.05$) de fibra (0.00 a 2.26 g / 100g). La adición de extracto

enzimático favoreció el aumento de volumen del producto. Estos resultados sugieren que el Po y su extracto enzimático pueden usarse como un ingrediente alternativo para enriquecer el valor nutricional del pan de trigo.

Palabras clave: Hongo comestible, Harina, *Pleurotus ostreatus*, Pan de trigo.

1. Introducción

El pan es un alimento popular en todo el mundo, y sus ingredientes han ido evolucionando y cambiando con el avance del tiempo (1). En este sentido, la ciencia y tecnología de la panificación tiene un papel muy importante para mejorar la práctica actual y desarrollar nuevos productos.

El cereal más utilizado en panificación es el trigo (*Triticum aestivum*), ya que en la preparación de un pan, forma una masa en donde queda atrapado el gas que es producido por las levaduras durante la fermentación y resulta en una miga suave y esponjosa que atrae al consumidor (2). El almidón es el componente principal de la harina de trigo (79 a 75 % de peso seco) afecta a las características reológicas de la masa debido a su capacidad de absorción de agua y sus propiedades gelificantes, además de las nutricionales y sensoriales en el pan (2). Se han utilizado varios tipos de enzimas amilolíticas en la elaboración del pan para mejorar la reología de la masa y las características físicas del pan (3) debido a la hidrólisis enzimática del almidón. Las α -amilasas, amilasas maltogénicas, las glucoamilasas, o una combinación de origen diferente (fúngico o bacteriano) son las más utilizadas para acelerar la degradación del almidón para evitar que la estructura del pan colapse y obtener un producto con mejores características sensoriales (4). Oliveira *et al* (5), evaluaron el impacto sobre la calidad y el envejecimiento del pan de un coctel enzimático con actividad xilanolítica del hongo *T. aurantiacus*, como un mejorador de las propiedades reológicas del pan. También

las enzimas se han utilizado para mejorar las cualidades físicas, nutricionales y digestivas del pan (6), Li *et al* (3) investigaron los efectos de glucosiltransferasa B (GtfB) sobre la reología de la masa y el rendimiento de la harina de trigo para hornear, obteniendo un pan con baja retrogradación y digestibilidad lenta.

El pan es consumido a nivel mundial, pero se debe tomar en consideración que tiene alto contenido de almidón de rápida digestión, por lo que su consumo provoca un incremento en los niveles de glucosa sanguínea (7) y como consecuencia, puede promover el desarrollo de desórdenes metabólicos, como diabetes y enfermedades cardiovasculares (8). Actualmente el desarrollo de alimentos funcionales busca satisfacer las necesidades de los consumidores, abasteciendo de productos que además de proporcionar nutrientes y energía, presenten compuestos bioactivos que prevengan o contrarresten la generación o avance de enfermedades crónicas (9–11). Se han llevado a cabo investigaciones sobre el enriquecimiento del pan, reemplazando la harina refinada por ejemplo por cáscara de fruta para aumentar su contenido de fibra (12), leguminosas como fuente de proteína vegetal (13), mucílago de nopal, que proporciona compuestos funcionales como polisacáridos que funcionan como prebióticos en el pan (14).

Se ha reportado que la incorporación de hongos comestibles a los alimentos procesados potencializa las características sensoriales, nutricionales y nutraceuticas o funcionales de los alimentos (15–18).

Particularmente, las especie de *Pleurotus ostreatus* (Po), es una de las más cultivadas a nivel mundial (19). Este hongo se desarrolla en sustratos lignocelulósicos, como lo son los subproductos de la industria alimentaria (20). Además, el Po es una fuente importante de proteínas (21) de alta calidad que cumplen con los requerimientos de aminoácidos esenciales para un adulto, fibra, vitaminas, minerales y ácidos grasos insaturados (22), así mismo es fuente de polisacáridos como los β -glucanos (pleuran) con diversas actividades biológicas y funcionales, como propiedades inmunomoduladoras (23), prebióticas (24) y actividad hipoglucemiante (25). Los hongos comestibles han sido consumidos desde épocas antiguas y valorados actualmente por sus características organolépticas y su gran valor nutricional (15), por lo que puede convertirse en una opción como fuente enriquecedora de alimentos.

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la suplementación de harina y adición de extracto enzimático con actividad amilolítica obtenidos a partir de *Pleurotus ostreatus* sobre las propiedades nutrimentales y fisicoquímicas de la masa panadera.

2. Materiales y métodos

2.1 Cultivo de *Pleurotus ostreatus* y obtención de la harina

El cultivo del hongo *Pleurotus ostreatus* se llevó a cabo siguiendo las metodologías de Bonatti-Chaves *et al* (26) con modificaciones en la temperatura y humedad durante la incubación. Para el desarrollo del hongo se utilizó paja de trigo (*Triticum* sp.) y sorgo (*Sorghum* sp.) como sustrato el cual se esterilizó en autoclave para evitar contaminación. Posteriormente, se inoculó el sustrato con semilla de sorgo (15% p/p) inoculada con micelio del hongo Po (conservado a -4°C), el cual fue proporcionado por el Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad

Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), este procedimiento utilizó bolsas de plástico de 2 Kg, las cuales se mantuvieron en oscuridad, en condiciones de temperatura (28°C) y humedad relativa (80 - 90 %) controladas. Los hongos maduros (cuerpo fructífero) de Po se cosecharon manualmente después de 40 días. Los hongos se cortaron y se secaron en horno eléctrico (Felisa) a 60°C durante 48 h; a continuación, se molieron (Pulvex mini 100) y se tamizaron hasta un tamaño de partícula de $350\text{ }\mu\text{m}$ (Tyler, RO-TAP RX-29).

2.2. Obtención del extracto enzimático

Para la obtención del extracto enzimático de Po se realizaron cinéticas de producción de enzimas utilizando como sustratos diferentes desechos agroindustriales (bagazo) de plantas de yuca (*Yucca filifera*) y maguey (*Agave salmiana*) (21). Se seleccionó la muestra que presentó mayor actividad amilolítica ($3889\text{ UE} \cdot \text{L}^{-1}$) para esta investigación. El extracto crudo se obtuvo adicionando 50 mL de buffer de citratos (pH 5) a cada bolsa, se agitó vigorosamente para asegurar la extracción total de las enzimas producidas. El contenido de la bolsa fue filtrado con una bomba de vacío y papel filtro Whatman No. 1, el sobrenadante recolectado se congeló a -20°C hasta su uso de acuerdo al método de González y col. (27).

2.3 Determinación de la actividad enzimática de la amilasa

La actividad enzimática del extracto crudo obtenido se determinó cuantificando los azúcares reductores liberados utilizando el método del ácido 3,5 dinitrosalicílico (DNS) como lo describe Miller (28). En una solución de almidón en agua destilada (10% v/v) en un volumen de $90\text{ }\mu\text{L}$ se agregaron $10\text{ }\mu\text{L}$ del extracto enzimático crudo y se incubó a 50°C durante 60 min, posteriormente se adicionaron $100\text{ }\mu\text{L}$ de DNS. La solución resultante se llevó a ebullición (100°C)

durante 10 min y luego se colocó en hielo durante 5 min. Se determinaron los azúcares reductores obtenidos, midiendo la absorbancia a 546 nm en un espectrofotómetro (BIOBASE EL-10A), utilizando como curva patrón maltosa. Una unidad de actividad de amilasa se definió como la cantidad de enzima requerida para la liberación de 1 μ mol de azúcar reductor en equivalentes de maltosa por minuto.

2.4 Desarrollo de formulaciones de pan enriquecidos con *Pleurotus ostreatus*

Se desarrollaron formulaciones de pan con harina de trigo, Po, aguamiel y otros ingredientes (levadura, leche entera, sal, aceite de canola y agua) adquiridos en un comercio local de la ciudad de Saltillo, Coahuila, México. La formulación base del pan de trigo (P0, como control) se presenta en la Tabla 1. La harina de Po sustituyó la harina de trigo en 5, 10, 15 y 20 % y las formulaciones obtenidas se designaron como P5, P10, P15 y P20 respectivamente.

Tabla 1. Formulación base empleada para la elaboración de pan de trigo.

Ingredientes	(%, p/p)
Harina de trigo	60
Levadura	1.5
Leche entera	28.4
Aguamiel	3.7
Aceite de canola	4.5
Sal	1.1

Se pesaron en balanza analítica (Ohaus) y posteriormente se mezclaron todos los ingredientes usando una amasadora eléctrica manual (Black + Decker MX 900) durante 15 a 20 min, hasta la incorporación completa de los ingredientes. La masa obtenida, se dejó reposar por 1 h a 25 °C para permitir su fermentación por levadura. Pasado este tiempo, la masa fue pesada y dividida en partes iguales de 50 g para ser moldeada y se dispuso en un recipiente para hornear, se dejó

otros 30 min a 25 °C para una segunda fermentación. Las formulaciones desarrolladas se hornearon por 22 min en un horno de convección a 180 °C (San-Son, HCX PLUS). Después se enfriaron a 25 °C y se almacenaron en bolsas de plástico hasta su posterior análisis. Todas las formulaciones se prepararon por triplicado.

2.5 Evaluación del efecto del extracto enzimático sobre las características del pan de trigo enriquecido con Po

Una vez que las formulaciones de pan enriquecido con Po se desarrollaron, así como las condiciones adecuadas de elaboración y horneado, se evaluó el efecto de la enzima amilasa sobre el pan. Se mezclaron todos los ingredientes excepto la levadura por 15 a 20 min, adicionando un 5% del extracto enzimático continuando con el amasado hasta la homogenización de los ingredientes. Una vez obtenida la masa, se cubrió y se mantuvo por 30 min a temperatura ambiente (25 °C) para permitir que la enzima amilasa actuara sobre la masa. Transcurrido este tiempo, se agregó la levadura y se amasó de 5-10 min para su incorporación. Se cubrió la masa y se dejó 1 h a temperatura ambiente (25 °C) para permitir el proceso de fermentación. Pasado este tiempo, la masa se pesó y dividió en partes iguales para ser moldeada y se continuó con la metodología de la sección 2.2. Las formulaciones obtenidas en esta etapa se nombraron P0e, P5e, P10e, P15e y P20e.

2.6 Análisis de la composición química del Po y de las formulaciones de pan

Los contenidos de humedad, lípidos crudos, proteína cruda, fibra cruda y cenizas de la harina de Po y de los panes se determinaron de acuerdo a los métodos estandarizados de la AOAC (29). El contenido de proteína fue estimado por el método de Kjeldahl usando 4.38 como factor de conversión del nitrógeno a proteína para las muestras de harina de

hongo Po (30) y el factor 6.25 para las formulaciones de panes. Los lípidos se extrajeron con hexano en un Soxhlet durante 6 h. El contenido de cenizas se determinó mediante incineración a 600 °C en mufla. Los carbohidratos totales se determinaron por diferencia (100 – (cenizas + proteína + lípidos + humedad)). Así mismo, se determinaron azúcares totales de las formulaciones de pan siguiendo el método de fenol-sulfúrico. Se determinó fibra cruda siguiendo el método gravimétrico que mide el residuo orgánico luego de una digestión secuencial con ácido sulfúrico 0.255 N e hidróxido de sodio 0.313 N, seguido de secado en horno a 100 °C por 12 h e incineración en mufla a 600 °C durante tres horas.

2.7 Análisis estadístico

Todos los experimentos se llevaron a cabo por triplicado y los resultados se presentan como el promedio $\pm$ desviación estándar (DE). Los análisis estadísticos se realizaron mediante análisis de varianza unidireccional (ANOVA) seguido de la prueba de Tukey con un nivel de significación del 5%, utilizando el software INFOSTAT versión 2018 para Windows (Córdoba, Argentina).

3. Resultados y Discusión

3.1 Análisis proximal de la harina de Po

La composición química (base seca) de la harina de Po (31-35) se muestran en la Tabla 2. El contenido de cenizas fue de 9.9 ± 0.2 g/100 g, resultado similar al obtenido por Alam *et al* (36). El hongo Po es una fuente de minerales como fósforo, potasio y magnesio

(37). El contenido de minerales de la harina de Po es más alto que la de harina de trigo ya que muchos de los minerales se pierden durante el proceso de molienda del grano para la harina de trigo (33). El contenido de lípidos fue similar a los datos reportados por Wang *et al* (38) en Po cultivado en residuos de cáscaras de algodón. La grasa que contiene la mayoría de los hongos está compuesta por ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados (linolénico y linoleico), estos últimos, son ácidos grasos esenciales y son necesarios para prevenir enfermedades cardiovasculares (39-40). En cuanto al contenido de proteínas, este fue el segundo componente con mayor concentración en la harina de Po. Carrasco-González *et al* (22) señalaron al hongo Po como uno de los hongos con mayor cantidad de proteína en comparación con otras especies del género *Pleurotus* spp. Estas proteínas aumentan valor biológico ya que aportan todos los aminoácidos esenciales, en cantidades suficientes (40), a diferencia de la harina de trigo, cuyas proteínas son deficientes en lisina y treonina (41). Sin embargo, el contenido de proteínas en hongos puede variar dependiendo del sustrato en el que se desarrolla el hongo (32, 36, 42, 43). Con respecto al contenido de carbohidratos totales, estos fueron de 60.3 ± 0.7 g/100 g, siendo el componente químico mayoritario, en concordancia con otros trabajos previos (32, 44). A diferencia de la harina de trigo que contiene en su mayoría hasta en un 75% de almidón (41, 45), los polisacáridos presentes en el hongo Po son β -glucanos y quitina (46).

Tabla 2. Composición química del polvo de *Pleurotus ostreatus* comparada con la harina de trigo.

Componentes químicos	Valores obtenidos de harina de Po (g/100g)	Valores de referencia de harina de Po ^(22,31,32)	Valores de referencia de Harina de trigo ^(2,34,35)
Humedad (%)	5.6 ± 0.2	-----	13.75 - 14.1
Ceniza	9.9 ± 0.2	4.1-15.9	0.45 – 0.63
Lípidos	1.9 ± 0.1	0.5 - 7.6	0.00 – 0.92
Proteína	22.3 ± 1.4	7.3- 53.3	11.20 – 13.2
Carbohidratos totales	60.3 ± 0.7	13.1 – 85.8	67.78 – 85.2
Fibra cruda	5.5 ± 0.4	7.6 – 15	0.00

Otro componente importante que se encuentra en el Po es la fibra. En este estudio se cuantificó la fibra cruda (5.5 g/100 g), el contenido fue menor a lo reportado por (26, 36, 44). La fibra es otro componente que se ve afectado por el sustrato elegido para que crezca el hongo (43). A pesar de esto, en comparación con la harina de trigo refinada, el valor encontrado en la harina de Po es superior. Durante el proceso de molienda del grano de trigo, se separan el salvado y el germen. Estas dos partes del grano contienen la mayor parte de fibra dietética y otros componentes bioactivos, por lo que la harina resultante es baja en este componente (47).

3.2 Obtención y determinación de la actividad amilasa del extracto enzimático *P. ostreatus*

La determinación de la actividad amilasa durante el desarrollo del hongo *P. ostreatus*

en las diferentes mezclas de sustrato evaluado presentó un pico máximo de actividad amilasa a los 7 días del cultivo del hongo en los sustratos compuestos por 40 y 50 % de yuca. La mayor actividad enzimática obtenida fue de $3896 \text{ UE} \cdot \text{L}^{-1}$ y se presentó en la mezcla con 50% de *Y. filifera*, de acuerdo al ANOVA se obtuvo diferencia significativa entre los tratamientos ($p < 0.05$) (27). Se ha reportado que, en los primeros días de la cinética de fermentación, los microorganismos fúngicos desarrollan sistemas enzimáticos rápidamente con el objetivo de degradar los azúcares disponibles en el medio, sin embargo, en seguida la actividad enzimática comienza a decrecer debido a la presencia de otras moléculas (como azúcares reductores o aminoácidos) que inhiben la producción enzimática y pueden retardar su crecimiento [48].

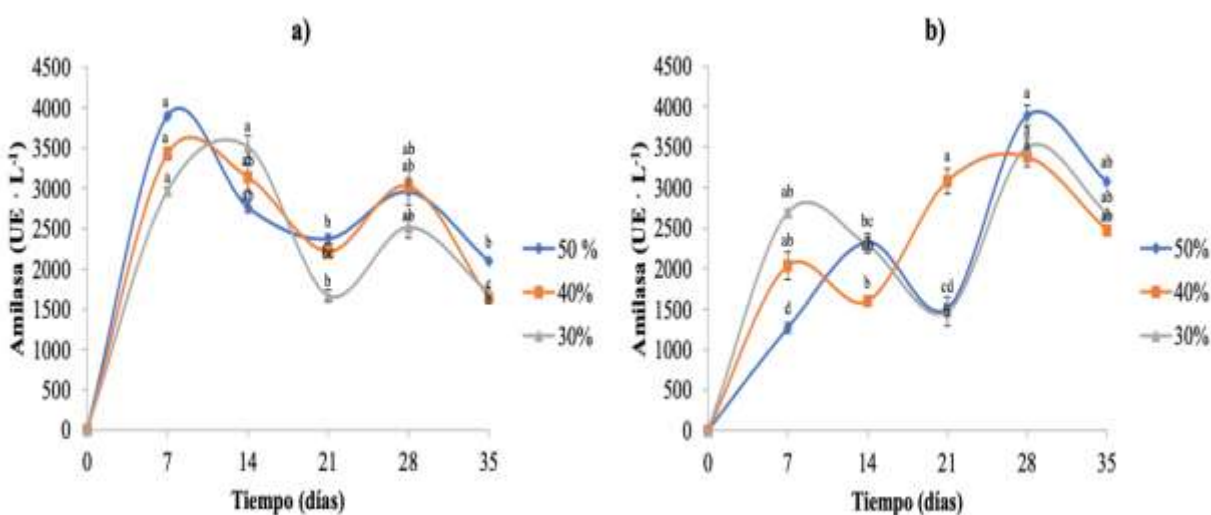


Figura 1. Cinética de actividad amilasa con a) bagazo de yuca y b) bagazo de maguey como soporte. Desviación estándar representada por las barras de error. Medias dentro de la cinética del mismo tratamiento que no comparten una letra son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Por otra parte, la mayor actividad de amilasa en el sustrato con maguey al 50% fue de $3889 \text{ UE} \cdot \text{L}^{-1}$, el hecho de que la mayor producción de amilasas se diera casi al final de la cinética de fermentación puede deberse a que los

azúcares solubles son los principales consumidos durante el desarrollo del micelio [49]. Sin embargo, otras investigaciones han reportado niveles de producción de enzima amilasa alrededor de $495 \text{ UE} \cdot \text{L}^{-1}$ a los 21

días de la cinética de fermentación. En el presente estudio se obtuvieron mayores niveles ($3889 \text{ UE} \cdot \text{L}^{-1}$), debido a efectos sinérgicos que pueden presentar los microorganismos en sistemas de fermentación sólida (27).

3.3 Evaluación del efecto del extracto enzimático en las formulaciones de pan desarrolladas

En la figura 2 se presentan las formulaciones de pan desarrolladas enriquecidas con harina de Po con y sin extracto enzimático. Durante el desarrollo de la masa para pan, se adicionó el extracto enzimático 30 min antes que la levadura, con el fin de que este proceso ayudara a que este microorganismo tuviera

mayor disponibilidad de azúcares fermentables (50). La acción de la enzima amilasa es catalizar la hidrólisis de enlaces α -1, 4-glucosídicos en moléculas de almidón (amilosa y amilopectina), generando maltosa y glucosa; además tiene un efecto en la reología de la masa produciendo un pan con propiedades diferentes al pan sin actividad enzimática y sus reacciones acopladas (51). La glucosa y la maltosa son azúcares fermentables que pueden ser utilizados por la levadura *Saccharomyces cerevisiae* (*S. cerevisiae*) como fuente de metabolismo para producir CO_2 . La formación de gas durante la fermentación final de la masa y en la primera parte de la fase de cocción es necesaria para obtener un producto de calidad (52).

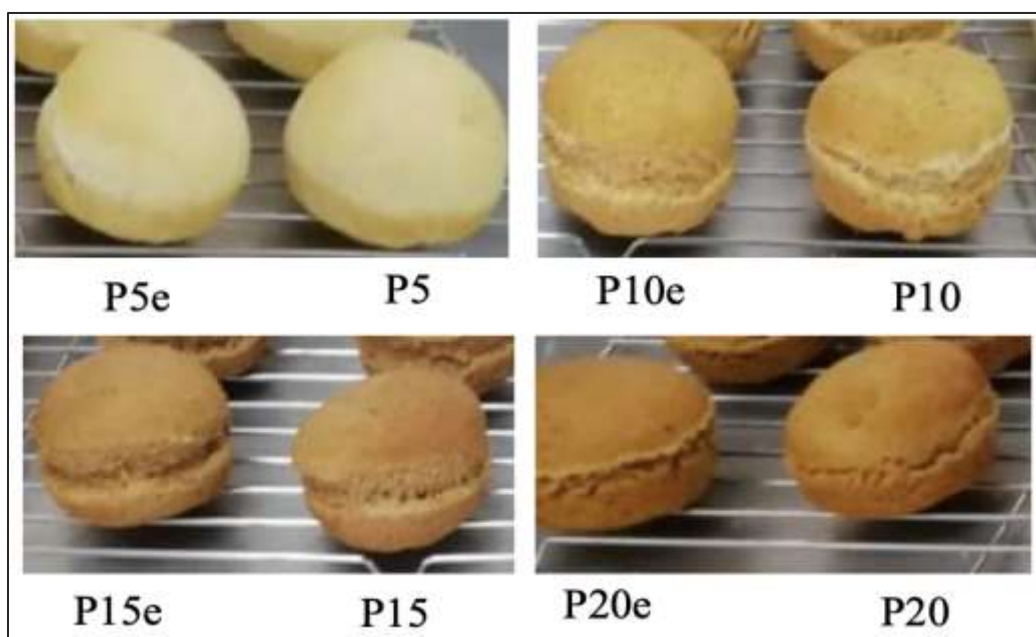


Figura 2. Formulaciones de pan con diferentes concentraciones de harina de Po (5, 10, 15 y 20 %) con o sin extracto enzimático.

En la figura 3 se puede observar una diferencia en el volumen entre el pan P5e de harina de Po con enzima y sin enzima (P5e). Al aumentar los azúcares disponibles para la fermentación, la levadura tuvo mejor rendimiento durante la fermentación lo que pudo aumentar el volumen de pan (50). Este comportamiento debido a la adición de

enzimas puede resultar favorecedor en productos de panificación a los que se les ha sustituido la harina de trigo, por otro ingrediente que no contenga gluten o con bajo contenido de almidón, como es el caso de la harina del hongo Po.

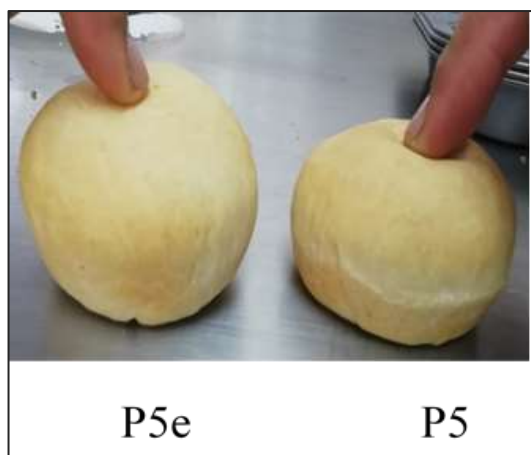


Figura 3. Formulación P5e (Pan con el 5% de harina de Po y enzima) y pan P5 (pan con el 5% de harina de Po, sin enzima).

La adición de polvo o harina de hongos comestibles a masa de pan puede disminuir el volumen específico del pan, ya que interfiere con la formación de una red de gluten de calidad y en consecuencia, una menor retención de CO_2 , lo que resulta en que la masa no alcance su potencial para aumentar volumen porque se colapsan las burbujas de gas (17). La adición de enzima amilolítica podría cambiar la viscoelasticidad de la masa durante la gelatinización del almidón, aumentando la retención de gas durante la fermentación (50, 51).

3.4 Evaluación de las características nutricionales de las formulaciones de pan obtenidas

La adición de harina de Po y extracto enzimático afectó la concentración de nutrientes en las formulaciones de pan (tabla 3). En cuanto al contenido de cenizas, la

máxima concentración lo obtuvo la formulación P10, con el 5.53 ± 0.20 g/100 g, el incremento se puede atribuir a que el hongo Po es fuente de minerales como fósforo, potasio y calcio (30). El contenido de lípidos presentó una disminución con la adición a partir del 10% de harina de Po en las formulaciones de pan. La formulación P20e presentó la máxima concentración de proteína de 16.36 ± 1.33 g/100 g en comparación con el pan P0e (pan control con enzima) con el 11.06 ± 0.14 g/100 g. Se ha observado el incremento en el contenido proteico de galletas adicionadas con harina de hongos (52). Se presentó un aumento de la cantidad de azúcares totales en las formulaciones al adicionar harina de Po, en comparación con la formulación P0e (control) sin embargo no hubo diferencias significativas ($P > 0.05$) dependiendo de la concentración de harina. El extracto enzimático al tener una actividad mayor de amilasas, transforma el almidón en azúcares de los cuales la levadura los utiliza para convertirlos en alcohol y dióxido de carbono (50). Esto podría causar el ligero incremento en las concentraciones de azúcares totales. Los carbohidratos de Po son polisacáridos (β -glucanos) que no son susceptibles a la hidrólisis enzimática (46). La fibra cruda incrementó su concentración de 0.00 g/ 100g en P0e a 2.26 ± 0.20 al adicionar Po en la formulación de pan. El incremento en fibra, con la adición de Po puede ser causado por la presencia de fibra dietética contenida en la harina de Po, β -glucanos.

Tabla 3. Composición química de las formulaciones de pan enriquecidos con Po y con extracto enzimático (g/100g).

Muestra	Humedad (%)	Ceniza	Lípidos	Proteína	Azúcares totales	Carbohidratos totales	Fibra cruda
P0e	3.41 ± 0.21 ^a	2.66 ± 0.04 ^a	0.40 ± 0.10 ^b	11.06 ± 0.14 ^b	15.15 ± 0.31 ^a	67.32 ± 0.21 ^a	0.00 ± 0.00 ^a
P5e	9.63 ± 0.07 ^b	3.07 ± 0.5 ^a	0.26 ± 0.04 ^b	7.84 ± 0.03 ^a	20.83 ± 1.33 ^b	58.05 ± 0.28 ^b	0.32 ± 0.13 ^a
P10e	12.35 ± 0.12 ^c	5.53 ± 0.20 ^b	0.03 ± 0.02 ^a	11.56 ± 0.55 ^b	20.99 ± 0.97 ^b	49.20 ± 0.16 ^c	0.34 ± 0.03 ^a
P15e	17.54 ± 1.72 ^d	2.32 ± 0.69 ^a	0.01 ± 0.00 ^a	7.95 ± 0.60 ^a	21.57 ± 0.58 ^b	48.95 ± 0.22 ^c	1.66 ± 0.19 ^b
P20e	15.44 ± 0.92 ^d	2.71 ± 0.01 ^a	0.04 ± 0.02 ^a	16.36 ± 1.33 ^c	21.02 ± 1.48 ^b	42.17 ± 0.29 ^d	2.26 ± 0.20 ^b

* Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$, ANOVA).

Esta fibra dietética soluble que está presente en las paredes celulares de los hongos ha demostrado tener beneficios para la salud, como efectos hipoglucemiantes (53). El enriquecimiento de productos a base de cereal, ricos en almidón, con fibras dietéticas de hongos comestibles ha mostrado disminuir el índice glucémico de estos alimentos, evitando el incremento repentino de los niveles de azúcar en sangre en los consumidores (54, 55).

4. Conclusiones

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la suplementación de harina y adición de extracto enzimático con actividad amilolítica obtenidos a partir de *Pleurotus ostreatus* sobre las propiedades nutrimentales y fisicoquímicas de la masa panadera. El enriquecimiento del pan de trigo con harina de hongo Po incrementó la concentración de fibra cruda, con la formulación P20e, la inclusión del extracto enzimático obtenido del hongo Po, aumentó la concentración de proteína y fibra del pan, por lo que la harina

del hongo comestible de *Pleurotus ostreatus* puede ser una fuente de nutrientes como la proteína que permite enriquecer los alimentos y que su extracto enzimático puede ser utilizado como mejorador en panificación de acuerdo con los resultados.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Autónoma de Coahuila (UAdeC), a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCyT) por el apoyo financiero para realizar esta investigación (923148). Este estudio también fue apoyado por el Fondo Destinado a Promover el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología en el Estado de Coahuila (FONCYT) con clave COAH-2019-C13-C110.

6. Referencias

1. Zhou W, Therdthai N, Hui YH. (2014). "Introduction to Baking and Bakery Products". *Bakery Products Science and*

- Technology*, John Wiley & Sons, Ltd.
<https://doi.org/10.1002/9781118792001>
2. Cardoso RVC, Fernandes Â, González-Paramás AM, Barros L, Ferreira ICFR. (2019). "Flour fortification for nutritional and health improvement: A review". *Food Research International*. 125: 108576. doi: 10.1016/j.foodres.2019.108576.
 3. Li D, Zhao Y, Fei T, Wang Y, Lee BH, Shim JH, Zu B, Li Z & Li Z. (2019). "Effects of *Streptococcus thermophilus* GtfB enzyme on dough rheology, bread quality and starch digestibility". *Food Hydrocolloids*. 96:134–9. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.05.009>.
 4. Calle J, Benavent-Gil Y, Rosell CM. (2020). "Development of gluten free breads from *Colocasia esculenta* flour blended with hydrocolloids and enzymes". *Food Hydrocolloids*. 98:105243. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105243>.
 5. Oliveira DS, Telis-Romero J, Da-Silva R, Franco CML. (2014). "Effect of a *Thermoascus aurantiacus* thermostable enzyme cocktail on wheat bread quality". *Food Chemistry*. 143:139–46. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.103>.
 6. Md. Asaduzzaman Khan & Mousumi Tania. (2012). "Nutritional and Medicinal Importance of *Pleurotus* Mushrooms: An Overview". *Food Reviews International*. 28(3): 313–329. <https://doi.org/10.1080/87559129.2011.637267>
 7. Akila SRV, Mishra S, Hardacre A, Matia-Merino L, Goh K, Warren F & Monro J. (2019). "Kernel structure in breads reduces in vitro starch digestion rate and estimated glycaemic potency only at high grain inclusion rates". *Food Structure*. 21:100109. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2019.100109>.
 8. Roman L & Martinez MM. (2019). "Structural Basis of Resistant Starch (RS) in Bread: Natural and Commercial Alternatives". *Foods*. 8:267. <https://www.mdpi.com/2304-8158/8/7/267>.
 9. Proserpio C, Pagliarini E, Laureati M, Frigerio B, Lavelli V. (2019). "Acceptance of a new food enriched in β -glucans among adolescents: Effects of food technology neophobia and healthy food habits". *Foods*; 8(10). <https://doi.org/10.3390/foods8100433>
 10. Szakály Z, Kovács S, Pető K, Huszka P, Kiss M. (2019). "A modified model of the willingness to pay for functional foods". *Appetite*; 138:94–101.
 11. Wai A, Yeung K, Mocan A, Atanasov AG. (2018). "Let food be thy medicine and medicine be thy food: A bibliometric analysis of the most cited papers focusing on nutraceuticals and functional foods". *Food Chemistry*. 269:455–65. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.139>
 12. Chen Y, Zhao L, He T, Ou Z, Hu Z, Wang K. (2019). "Effects of mango peel powder on starch digestion and quality characteristics of bread". *International Journal Biological Macromolecules*. 140:647–52. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.188>
 13. Millar KA, Barry-Ryan C, Burke R, McCarthy S, Gallagher E. (2019). "Dough properties and baking characteristics of white bread, as affected by addition of raw, germinated and toasted pea flour". *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 56:102189. DOI: 10.1016/j.ifset.2019.102189.
 14. Liguori G, Gentile C, Gaglio R, Perrone A, Guarcello R, Francesca N, (2019). "Effect of addition of *Opuntia fi cus-*

- indica mucilage on the biological leavening , physical , nutritional , antioxidant and sensory aspects of bread". *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 126 (2): 184-191. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2019.08.009>
15. Ma G, Yang W, Zhao L, Pei F, Fang D, Hu Q. (2018). "A critical review on the health promoting effects of mushrooms nutraceuticals". *Food Science and Human Wellness*. 7(2):125–33. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2018.05.002>.
 16. Kim S, Lee JW, Heo Y, Moon B. (2016). "Effect of *Pleurotus eryngii* Mushroom β -Glucan on Quality Characteristics of Common Wheat Pasta". *Journal of Food Science*. 81(4):C835–40. DOI: 10.1111/1750-3841.13249
 17. Khider M, Elbanna K, Seoudi O, El-Fakharany A. (2015). "Lactic acid fermented permeates and mushroom powder (*Pleurotus ostreatus* Hk 35) for improvement of the nutritional value and quality of pan bread". *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 4(8):723–36.
 18. Zhang Y, Ruan C, Cheng Z, Zhou Y, Liang J. (2019). "Mixolab behavior, quality attributes and antioxidant capacity of breads incorporated with *Agaricus bisporus*". *Journal of Food Science and Technology*. 56(8): 3921–9. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03859-7>.
 19. Kalač P. (2016). "Edible Mushrooms: Chemical composition and nutritional value". *Academic Press*. Elsevier. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/C20150004713>.
 20. Bellettini MB, Fiorda FA, Maieyes HA, Teixeira GL, Ávila S, Hornung PS, et al. (2019). "Factors affecting mushroom *Pleurotus* spp". *Saudi Journal of Biological Sciences*. 26(4): 633–46. doi: 10.1016/j.sjbs.2016.12.005
 21. González-Colunga, A.A., Sigala-Laguna, S.S., Tapia-Solís, M., Cruz, M., Rodríguez-Jasso R.M., Loredó, A. , Contreras-Esquivel, J.C. and Belmares, R. (2021). "Efecto de diferentes sustratos sobre la cinética enzimática de *Pleurotus ostreatus*". *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*. 9(49):20-39.
 22. Carrasco-González JA, Serna-Saldívar SO, Gutiérrez-Urbe JA. (2017). "Nutritional composition and nutraceutical properties of the *Pleurotus* fruiting bodies: Potencial use as food ingredient". *Journal of Food Composition of Analysis*. 58:69–81. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2017.01.016>.
 23. Vetvicka V, Gover O, Karpovsky M, Hayby H, Danay O, Ezov N. (2019). "Immune-modulating activities of glucans extracted from *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus eryngii* ". *Journal of Functional Foods*. 54:81–91. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.12.034>.
 24. Synytsya A, Mičková K, Synytsya A, Jablonský I, Spěvák J, Erban V. (2009). "Glucans from fruit bodies of cultivated mushrooms *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus eryngii*: Structure and potential prebiotic activity". *Carbohydrate Polymers*. 76(4): 548–56. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.11.021>
 25. Nweze CC, Rasaq NO, Istifanus BI. (2020). "Effect of *Agaricus bisporus* and *Pleurotus ostreatus* mixed diet on Alloxan-induced hyperglycemic rats". *Science African*. 7:e00209. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00209>.
 26. Bonatti-Chaves M, Soares H, Furlan SA. (2004). "Evaluation of *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus sajor-caju* nutritional characteristics when

- cultivated in different lignocellulosic wastes". *Food Chemistry*. 88(3): 425-428.
DOI:10.1016/j.foodchem.2004.01.050
27. M. A. Cruz-Hernández, A. C. Ríos-Sánchez, F. Morales-Luna, M. Flores-Verastegui, M. E. Castelo-Mejia, and R. Belmares-Cerda. (2019). "Evaluación de la producción de enzimas celulolíticas utilizando *Pleurotus ostreatus*" *Av. Investig. En Inocuidad Aliment.* 2: 5–11.
 28. Miller GL. (1959). Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. *Anal Chem*. 31(3): 426–8.
 29. A.O.A.C. 2000. "Official Methods of Analysis". *Association of Official Analytica Chemist*. EUA.
 30. Rasalanavho M, Moodley R, Jonnalagadda SB. (2020). "Elemental bioaccumulation and nutritional value of five species of wild growing mushrooms from South Africa". *Food Chemitry*. 319: 126596.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126596>
 31. Khan MA, Tania M. (2012). "Nutritional and Medicinal Importance of *Pleurotus* Mushrooms: An Overview". *Food Reviews International*. 28(3): 313–29. DOI:10.1080/87559129.2011.637267
 32. Fernandes Â, Barros L, Martins A, Herbert P, Ferreira ICFR. (2015). "Nutritional characterisation of *Pleurotus ostreatus* (Jacq. ex Fr.) P. Kumm. produced using paper scraps as substrate". *Food Chemitry*. 169:396–400. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.08.027
 33. Corrêa RCG, Brugnari T, Bracht A, Peralta RM, Ferreira ICFR. (2016). "Biotechnological, nutritional and therapeutic uses of *Pleurotus* spp. (Oyster mushroom) related with its chemical composition: A review on the past decade findings". *Trends in Food Science and Technology*. 50:103–17. DOI:10.1016/J.TIFS.2016.01.012
 34. Frakolaki G, Giannou V, Topakas E, Tzia C. (2018). "Chemical characterization and breadmaking potential of spelt versus wheat flour". *Journal of Cereal Science*. 79:50–6. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.08.023>.
 35. Wang J, Hasanalieva G, Wood L, Anagnostopoulos C, Ampadogiannis G, Bempelou E. (2020). "Effect of wheat species (*Triticum aestivum* vs *T. spelta*), farming system (organic vs conventional) and flour type (wholegrain vs white) on composition of wheat flour – results of a retail survey in the UK and Germany - 3. Pesticide residue content". *Food Chemistry X* 26:100089. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2020.100091>.
 36. Alam N, Amin R, Khan A, Ara I, Shim MJ, Lee MW. (2008). "Nutritional Analysis of Cultivated Mushrooms in Bangladesh - *Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus sajor-caju*, *Pleurotus florida* and *Calocybe indica*". *Mycobiology*. 36(4): 228-232. doi: 10.4489/MYCO.2008.36.4.228
 37. Bach F, Helm CV, Bellettini MB, Maciel GM, Haminiuk CWI. (2017). "Edible mushrooms: a potential source of essential amino acids, glucans and minerals". *International Journal of Food Science and Technology*. 52(11): 2382–9235. DOI:10.1111/ijfs.13522
 38. Wang S, Xu F, Li Z, Zhao S, Song S, Rong C. (2015). "The spent mushroom substrates of *Hypsizigus marmoreus* can be an effective component for growing the oyster mushroom *Pleurotus ostreatus*". *Sci Hortic*. 186:217–22. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.02.028>.
 39. Kayode RMO, Olakulehin TF, Adedeji BS, Ahmed O, Aliyu TH, Badmos AHA. (2015). "Evaluation of amino acid and fatty acid profiles of commercially cultivated oyster mushroom (*Pleurotus*

- sajor-caju*) grown on gmelina wood waste". *Niger Food Journal*. 33(1): 18–21.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.nifoj.2015.04.001>.
40. Manzi P, Gambelli L, Marconi S, Vivanti V, Pizzoferrato L. (1999). "Nutrients in edible mushrooms: An inter-species comparative study". *Food Chemistry*. 65(4): 477–82. DOI:10.1016/S0308-8146(98)00212-X
 41. Guardado-félix D, Lazo-vélez MA, Pérez-carrillo E, Esteban D, Serna-saldivar SO. (2020). "Effect of partial replacement of wheat flour with sprouted chickpea flours with or without selenium on physicochemical, sensory, antioxidant and protein quality of yeast-leavened breads". *LWT-Food Science and Technology*. 109517. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109517>.
 42. Adebayo EA, Oloke JK, Azeez MA, Omomowo IO, Bora TC. (2014). "Assessment of the genetic diversity among ten genotypes of *Pleurotus* (oyster mushroom) using nutrient and mineral compositions". *Scientia Horticulturae*. 166:59–64. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2013.12.010>.
 43. Koutrotsios G, Mountzouris KC, Chatzipavlidis I, Zervakis GI. (2014). "Bioconversion of lignocellulosic residues by *Agrocybe cylindracea* and *Pleurotus ostreatus* mushroom fungi-Assessment of their effect on the final product and spent substrate properties". *Food Chemistry*. 161:127–35. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.121>.
 44. Shbeeb DA, Farahat MF, Ismail HM. (2019). "Macronutrients analysis of fresh and canned *Agaricus bisporus* and *Pleurotus ostreatus* mushroom species sold in Alexandria markets, Egypt". *Progress in Nutrition*. 21(1): 203–9. DOI:10.23751/pn.v21i2-S.6453
 45. Lu X, Brennan MA, Serventi L, Liu J, Guan W, Brennan CS. (2018). "Addition of mushroom powder to pasta enhances the antioxidant content and modulates the predictive glycaemic response of pasta". *Food Chemistry*. 264:199–209. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.130>.
 46. Zhou S, Ma F, Zhang X, Zhang J. (2016). "Carbohydrate changes during growth and fruiting in *Pleurotus ostreatus*". *Fungal Biology*. 120(6): 852–61. <http://dx.doi.org/10.1016/j.funbio.2016.03.007>.
 47. Geng P, Harnly JM, Chen P. (2016). "Differentiation of bread made with whole grain and refined wheat (*T. aestivum*) flour using LC/MS-based chromatographic fingerprinting and chemometric approaches". *Journal of Food Composition and Analysis*. 47:92–100. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2015.12.010>.
 48. J. H. A. Betini, M. Michelin, S. D. C. Peixoto-Nogueira, J. A. Jorge, H. F. Terenzi, and M. L. T. M. Polizeli, "Xylanases from *Aspergillus niger*, *Aspergillus niveus* and *Aspergillus ochraceus* produced under solid-state fermentation and their application in cellulose pulp bleaching," *Bioprocess Biosyst. Eng.*, vol. 32, no. 6, pp. 819–824, 2009. <https://doi.org/10.1007/s00449-009-0308-y>
 49. V.-C. M.A., G. Mata, and J. M. Savoie, "Waste-reducing cultivation of *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus pulmonarius* on coffee pulp: changes in the production of some lignocellulolytic enzymes," *World J. Microbiol. Biotechnol.*, vol. 18, no. 3, pp. 201–207, 2002. <https://doi.org/10.1023/A:1014999616381>
 50. Struyf N, Verspreet J, Verstrepen KJ,

- Courtin CM. (2017). "Investigating the impact of α -amylase, α -glucosidase and glucoamylase action on yeast-mediated bread dough fermentation and bread sugar levels". *Journal of Cereals Science*. 75:35–44. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2017.03.013>.
51. Liu W, Brennan MA, Serventi L, Brennan CS. (2017). "Effect of cellulase, xylanase and α -amylase combinations on the rheological properties of Chinese steamed bread dough enriched in wheat bran". *Food Chemistry*. 234:93–102. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.160>.
 52. Bello M, Oluwamukomi M, Enujiugha V. (2017). "Nutrient Composition and Sensory Properties of Biscuit from Mushroom-Wheat Composite Flours". *Archives of Current Research International*. 9(3):1–11. DOI:10.9734/ACRI/2017/35686
 53. Rodrigues Barbosa J, dos Santos Freitas MM, da Silva Martins LH, de Carvalho RN. (2020). "Polysaccharides of mushroom *Pleurotus* spp.: New extraction techniques, biological activities and development of new technologies". *Carbohydrate Polymers*. 229:115550. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115550>.
 54. Lu X, Brennan MA, Serventi L, Liu J, Guan W, Brennan CS. (2018). "Addition of mushroom powder to pasta enhances the antioxidant content and modulates the predictive glycaemic response of pasta". *Food Chemistry*. 264:199–209. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.130>.
 55. Ng SH, Robert SD, Wan Ahmad WAN, Wan Ishak WR. (2017). "Incorporation of dietary fibre-rich oyster mushroom (*Pleurotus sajor-caju*) powder improves postprandial glycaemic response by interfering with starch granule structure and starch digestibility of biscuit". *Food Chemistry*. 227:358–68. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.108>.