CIENCIA E INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA DE LA UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO

VOLUMEN 5, NÚMERO 1, AGOSTO-DICIEMBRE 2023.

CIENCIA E INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA DE LA UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO,
Volumen 5, Número 1, agosto-diciembre 2023.
Reserva del Derecho al Uso Exclusivo No. 04-2019-070812475100-203, ISSN: 2683-2771

CIENCIA E INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA
DE LA UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO

Volumen 5 • Número 1 • julio-diciembre 2023

C O N T E N I D O

ARTÍCULO CIENTÍFICO	
PRACTICAS DE GESTION HUMANA EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE EN COLOMBIA Velez Montoya, A.M.; Monsalve Ruiz, M.; Angarita Suarez, C.; Restrepo Escobar, F.E.	1-17
ESTIMACIÓN DE VIDA DE ANAQUEL DE PRODUCTOS CON HUMEDAD BAJA DEPENDIENTE DEL MATERIAL DE EMPAQUE Tijerina-Berzosa, D.; Soto-Castro, RD; Atta-Delgado, M.X.; González de la Garza, D; Torres, J.A.	18-28
RESPUESTA AGRONÓMICA EN HÍBRIDOS DE MAÍZ AL UTILIZAR CAOLINITA PARA REDUCIR EL ESTRÉS POR CALOR Quiroz-Mercado, J.; Antuna-Grijalva, O.; Molina-Ayala, E.; Del Río-Rivas, M.J.; Coyac-Rodríguez, J.L.; Espinoza-Banda, A.	29-43
PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA PLANT FACTORY CON ARQUITECTURA DE CÁMARA PRISMÁTICA HEXAGONAL, PARA CRECIMIENTO DE CULTIVOS DE HORTALIZAS (VARIEDAD ROMANA PARRIS ISLAND) EN FORMATO DE MURO VERTICAL. Castellanos-Serrano, L.T.; Gómez-Águila, M.V.; Chávez-Mota, R.; Salinas-Paniagua, F.	44-64
EVALUACIÓN FARMACOLÓGICA DE LA ACTIVIDAD ANTINOCICEPTIVA DEL LIOFILIZADO DE PITAYA (HYLOCEREUS SP.) Aguilar Morales M.A.; Zapata-Morales J.R; Espinosa-Juárez J.V; Jaramillo-Morales O.A.	65-72

Consejo Editorial

Dr. Braulio Edgar Herrera Cabrera
Colegio de Postgraduados
Campus Puebla, México

Dr.José Luis Trejo Espino
CeProBi-IPN, Mexico

Ph.D. Julio S. Bernal
TEXAS A&M, USA

Ph.D. Sandra Flores García
Université Laval, Canadá

Ph.D. Julie V. Stanton
Penn State Brandywine

Comité Editorial

Director
Dr. Jesús Hernández Ruíz

Editor en Jefe
Dra. Ana Isabel Mireles Arriaga

Editores Asociados
Dr. Jorge Eric Ruiz Nieto
Dra. Paula C. Isiordia Lachica

Asistentes
Dr. Alberto Saldaña Robles
Dr. Ricardo Alberto Rodríguez Carbajal

CIENCIA E INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA DE LA UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO

Campus Irapuato-Salamanca | División de Ciencias de la Vida Departamento de Agronomía

Contacto de soporte
reiagro@ugto.mx
01(462) 624 1889 ext 5225, 5221

Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad de los autores, y no reflejan necesariamente los puntos de vista de la Universidad de Guanajuato, Consejo Editorial y Comité Editorial de la revista. Es responsabilidad del autor el uso de las ilustraciones, el material gráfico y el contenido creado para esta publicación.

CIENCIA E INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA DE LA UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO, Volumen 5, No. 01, julio-diciembre 2023, es una publicación semestral editada por la Universidad de Guanajuato, Lascuráin de Retana 5, Col. Centro, Guanajuato, Gto, C.P. 36000, Tel (473)730006, a través del Cuerpo académico I+D para el sector agroalimentario de la División de Ciencias de la Vida de la Universidad de Guanajuato del Campus Irapuato-Salamanca www.reiagro.ugto.mx, reiagro@ugto.mx. Editores responsables: Jesús Hernandez Ruiz y Ana Isabel Mireles Arriaga. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2019-070812475100-203, ISSN: 2683-2771 , ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, Lascuráin de Retana 5, Col. Centro, Guanajuato, Gto C.P. 36000.

Artículo científico

CIENCIA E INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA DE LA UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO
Vol. 5, Núm. 1 (2023), pp. 1-17.

PRACTICAS DE GESTION HUMANA EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE EN COLOMBIA [a]

HUMAN MANAGEMENT PRACTICES IN MILK PRODUCTION SYSTEMS IN COLOMBIA

Velez Montoya, A.M.[*]; Monsalve Ruiz, M.; Angarita Suarez, C. ; Restrepo Escobar, F.E.

Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. Facultad de Ciencias Agrarias.Carrera 48 # 7-151, C.P. 05001. *Medellín-Colombia. *Autor de correspondencia: ferestrepo@elpoli.edu.co*

Fecha de envío: 08, enero, 2023 Fecha de publicación: 16, diciembre, 2023

Resumen:
En el presente artículo se indagó sobre las variables que obstaculizan o facilitan la gestión de personas en sistemas de producción de leche. El objetivo de la investigación consistió en caracterizar las prácticas de gestión humana en unidades productoras de leche del municipio de Santa Rosa de Osos – Colombia. El estudio es de carácter exploratorio y descriptivo con un diseño cuantitativo; se utilizó como instrumento de recolección de información una encuesta con escala tipo Likert que se aplicó a una muestra de 17 administradores y 62 operarios. La información recopilada se procesó a través del software estadístico R-Project. Se encontró que las organizaciones objeto de estudio no cuentan con procesos formales de selección de personal, evaluación del desempeño, capacitación, remuneración y seguridad y salud en el trabajo. Con la información obtenida, se diseñó un modelo de gestión del talento humano para las pequeñas y medianas empresas del sector lechero, el cual se plasmó en una cartilla digital que fue distribuida a los productores y se socializó a la comunidad académica.

Palabras clave: Gestión humana, Procesos, Producción lechera, Condiciones de trabajo, bienestar laboral.

Abstract:
This article investigated the variables that hinder or facilitate the management of people in milk production systems. The objective of the research was to characterize human management practices in milk production units in the municipality of Santa Rosa de Osos - Colombia. The study is exploratory and descriptive in nature with a quantitative design; A survey with a Likert scale type scale was used as an instrument for collecting information, which was applied to a sample of 17 administrators and 62 workers. The information collected was processed through the statistical software R-Project. It was found that the organizations under study do not

[a]Artículo derivado de la investigación: Caracterización de las prácticas de gestión humana en unidades productoras de leche del municipio de Santa Rosa de Osos. La investigación fue financiada por el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid

have formal processes for personnel selection, performance evaluation, training, remuneration and occupational health and safety. With the information obtained, a human talent management model was designed for small and medium-sized companies in the dairy sector, which was reflected in a digital booklet that was distributed to producers and socialized to the academic community

Keywords: *Human management, processes, dairy production, working conditions, labor welfare*.

INTRODUCCIÓN

El sector agropecuario en Colombia durante los años noventa, presentó un crecimiento acelerado en términos macroeconómicos, lo anterior asociado a la demanda de productos agregados que impulsaron las actividades productivas. Sin embargo, la inestabilidad política, la ausencia de iniciativas financieras, rentables y sostenibles se refleja en la capacidad actual del sector. Esta precariedad también implica una deficiente inclusión del sector agropecuario en el resto de la economía nacional, agravando así los desequilibrios regionales (Echavarría, 2001). El sector agropecuario en el país se ha caracterizado por la producción primaria, en tal sentido, desde el año 2020 el Producto interno bruto (PIB) agropecuario ha descendido, tal vez por las medidas de aislamiento y el cierre de actividades productivas impuestas para combatir el Covid – 19 (Ministerio de Comercio, 2021).

A finales del año 2019, “La gran encuesta Pequeñas y medianas empresas (PYME) de 2018”, en la que participan 1.640 empresarios, se identifica la distribución de las empresas por sector y tamaño; puntualizando que el sector agropecuario tiene una representación de microempresarios (97,6%) significativa para la economía. Sin embargo, dichos empresarios expresaron que el elevado endeudamiento, la reducción de las ventas, los malos manejos administrativos y el incremento de la competencia, son los principales factores para que una PYME, fracase (Mojica Nieto & Ordoñez Gómez, 2020, p. 5).

Con relación a la cadena láctea colombiana, la producción primaria de leche cuenta con una alta importancia económica y social, pero con una baja productividad y valor agregado, principalmente porque las instituciones encargadas de velar por los intereses de esta cadena han hecho esfuerzos muy fugaces por sostener e incrementar su competitividad, generando fracturas notorias en el mercado y

necesidades que los productores no han logrado satisfacer, tales como inspección, vigilancia, control sanitarios, recursos humanos, financieros y técnicos que se traduce en malos manejos productivos (Minagricultura - UPRA, 2020).

En cuanto a la gestión del talento humano, de acuerdo con (Restrepo Escobar & Arias Vargas, 2016, p. 24) esta se define como "*un conjunto de actividades relacionadas con la organización laboral en su interacción con las personas, a través de: planeación del personal, selección, evaluación de desempeño, comunicación, formación y planes de carrera, clima laboral, motivación, higiene, seguridad y calidad de vida laboral, compensación, actividades tendientes a lograr el equilibrio entre los objetivos organizacionales (supervivencia, crecimiento, rentabilidad, productividad, calidad de productos y servicios, nuevos clientes, competitividad, imagen) y los objetivos personales (mejores salarios, beneficios, seguridad, calidad de vida, satisfacción, consideración y respeto, mejores oportunidades, autonomía y participación)".*

En cuanto a los procesos de gestión humana, el perfil laboral es el proceso a través de cual se obtiene la información relacionada con las actividades necesarias para lograr objetivos organizacionales satisfactorios (Molina, 2017, p. 5), es el resultado del análisis de puestos de trabajo y recoge la información relativa a cada puesto en relación con las tareas, obligaciones y responsabilidades (Enguídanos, 2017, p. 8). Torres et al. (2020, p. 4) indican que el reclutamiento son todas las técnicas que se utilizan para atraer candidatos con las competencias adecuadas para ocupar un cargo en una empresa o unidad de producción. La capacitación del talento humano es el proceso mediante el cual los trabajadores adquieren las habilidades y destrezas necesarias para desempeñarse eficazmente eficientemente dentro de las organizaciones y está relacionada con la evolución de la tecnología, la producción y el desarrollo humano para incrementar el nivel de competitividad de las empresas, las condiciones de vida y de trabajo (Changuán, 2020, p. 167). La evaluación del desempeño es un proceso mediante el cual se evalúa el desempeño del empleado y su potencial de desarrollo de cara al futuro (Rivero-Remírez, 2019, p.159), permite conocer sí se requiere capacitar al talento humano nuevamente, detectar errores en el diseño de los perfiles y en general detectar problemas que afecten el desempeño de los empleados (Changuán, 2020, p. 167).

Con relación a la seguridad y salud en el trabajo, esta se encarga de la atención de las personas en sus lugares de trabajo. Su principal objetivo es prevenir y proteger al trabajador de riesgos o peligros relacionados con las labores cotidianas, que pueden provocar lesiones, enfermedades o incluso la muerte (Tamayo, 2018, p. 39). De otro lado, el sistema de compensación es el conjunto de políticas encaminadas a generar una retribución económica a cambio de la ejecución de actividades productivas, que afecta directamente a la satisfacción y el desempeño del trabajador.

Por lo tanto, establecer un adecuado sistema remuneración es necesario y fundamental para las organizaciones (Ricaurte et al., 2020, p 35). Finalmente, el bienestar laboral es un estado deseado por los trabajadores que laboran en una organización, está constituido por planes y programas que propenden por mejorar la calidad de vida laboral, personal, familiar y social. Está dirigido a proteger los derechos sociales de los empleados, pero también está orientado a complementar la planeación estratégica de la empresa (Jiménez et al., 2019, p. 208).

Es así como el talento humano pasa por diversas etapas y va tomando relevancia para las empresas que implementan programas de mejora continua en los cuales el principal objetivo es ayudar a las personas y a las organizaciones a lograr sus metas. Armijos et al. (2019, p. 165) mencionan que *"en el curso de su labor los departamentos de gestión humana enfrentan numerosos desafíos que surgen de las demandas y expectativas de los empleados, de la organización y de la sociedad".* Los objetivos relacionados con la gestión del capital humano son diversos y deben contribuir a la productividad empresarial (Restrepo & Arias, 2016, p. 24) y la competitividad a través del análisis del perfil laboral, reclutamiento, selección, capacitación, la evaluación del desempeño, la remuneración y la salud en el trabajo complementados con programas de bienestar laboral.

Así las cosas, la gestión del talento humano es clave para el éxito organizacional, cuyo objetivo es la generación de valor, reconociendo el protagonismo del individuo en su entorno laboral. Sin embargo, el desprecio por la gestión humana trasciende a eslabones de la economía, lo cual se traduce en que en las unidades productoras de leche, se evidencia una particularidad social relacionada con la insatisfacción

por desempeño laboral, cuyo principal efecto expone un factor de riesgo que condiciona la productividad (Pérez & Arboleda, 2020, p. 209).

Para una correcta gestión del talento humano, se debe tener presente la cultura del país y la región donde esté ubicada la organización o unidad productiva. Por ello es necesario diseñar modelos de gestión contextualizados. En la actualidad está el modelo por competencias (Mejía-Giraldo, et al., 2013, p. 6), modelo de administración de recursos humanos (Franco & Bedoya, 2018, p. 88), modelo de gestión del recurso humano (Junco & Naranjo, 2018, p. 10). Para efectos del presente estudio se tomó como referencia el modelo de gestión del recurso humano.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio es de carácter exploratorio y descriptivo, se realizó un muestreo a conveniencia intencionada (Otzen & Monterola, 2017, p. 230), es decir, teniendo en cuenta las dificultades para el acceso a las unidades productivas objeto de estudio. La muestra estuvo constituida por 79 trabajadores, de niveles administrativo (17) y operarios (62) pertenecientes a 21 unidades productivas ubicadas en el Municipio de Santa Rosa de Osos (Latitud: 6° 37' 59" Norte, Longitud: 75° 28' 1" Oeste) – zona noroccidental de Colombia.

El instrumento para la recolección de la información fue la encuesta con preguntas cerradas tipo escala Likert adaptada al contexto cultural de la región, una aplicada a los administradores y otra a los operarios de las unidades productivas. Las variables evaluadas fueron: aprovisionamiento, capacitación, compensación, higiene y seguridad, evaluación del desempeño, para el caso de los empleados administrativos. Riesgos psicosociales, condiciones de seguridad, medio ambiente de trabajo, clima organizacional y efectos colaterales del trabajo para el caso de los operarios.

Se aplicó una prueba de validación de consistencia interna del instrumento a partir del coeficiente α de Cronbach (Rodríguez & Reguant, 2020, p. 6). Para el análisis de la información, se utilizó el software estadístico R-Project. Con la información obtenida, se diseñó un modelo de gestión del talento humano para las unidades productivas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El gran porcentaje de personas asociadas a la gestión del talento humano en sistemas productivos de lechería está constituida por el sexo masculino y se evidenció poca participación femenina en las gestiones administrativas y operativas. En cuanto a la edad, la mayor frecuencia se ubica entre 41 y 50 años en el caso de los administradores, mientras que, en los operarios, la mayor frecuencia es el rango de edad 36 a 40 años.

En la escolaridad la mayor frecuencia es la primaria tanto para los administradores como para los operarios, seguido del bachillerato; lo anterior indica que los administradores poseen limitadas capacidades para implementar prácticas de gestión de talento humano en los sistemas de lechería evaluados. En cuanto al tipo de vinculación, el contrato a término indefinido es la mayor frecuencia en toda la población. Cabe anotar que, en el caso de los administradores, un gran porcentaje son los dueños de la unidad productiva. Para el grupo de operarios pudo observarse que la participación femenina generalmente corresponde a la conyugue del operario contratado y que viven dentro de los límites del predio. El 71.43% de las mujeres devengan menos de un salario mínimo, mientras que la mayoría de los hombres (87.27%) ganan entre 1 y 2 salarios mínimos.

La gestión humana desde la perspectiva de los administradores

Se pudo determinar que un alto porcentaje de las empresas pecuarias evaluadas cumple en alto grado con el indicador de formalidad laboral para sus empleados, ya que hacen efectivo, conforme a las disposiciones de la normatividad, el pago de salud, pensión, cesantía, riesgos laborales y vacaciones. Frente a la implementación de programas de bienestar laboral en las empresas ganaderas, se pudo evidenciar que una proporción del 58% los administradores reconoce que no se implementan estos programas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Dimensiones prácticas de gestión del talento humano.

Table 1. Practical dimensions of human talent management.

Dimensión	Clave	No. variables asociadas a los administradores	No. variables asociadas a los operarios
Aprovisionamiento de personal	APIL	4	5
Formalidad laboral	FL	1	4
Compensaciones laborales	CL	5	8
Higiene y Seguridad	HST	3	51
Bienestar laboral	BL	1	8
Capacitación y del personal	CEP	4	1
Evaluación del desempeño laboral	EDL	5	0

Fuente: Elaboración propia

Un aspecto clave en cualquier organización es contratar el talento humano con las competencias suficientes para poder ejercer las funciones de manera adecuada. Por tal razón un adecuado proceso de reclutamiento y selección propiciará el cumplimiento de los objetivos estratégicos, un buen ambiente laboral y una mayor productividad. (Rodríguez & Calcerrada, 2020, p. 19). De igual forma, las relaciones laborales están mediadas por la intención que tienen los individuos de obtener una compensación económica a cambio del esfuerzo físico y mental, con el fin de las organizaciones logren los resultados esperados. Es por ello que el trabajador asalariado aspira a obtener mejores ingresos que le permitan satisfacer sus necesidades (González et al., 2020, p. 86). De acuerdo a lo anterior, con relación a la compensación, al reclutamiento y selección en las unidades productivas objeto de estudio, se encontró los siguiente: en una escala de 0 a 3, (Donde 0 no cumple y 3 cumple en alto grado), la media para el aprovisionamiento es 1,09 y para la compensación 1,68. las desviacionesn típicas indican que hay una baja dispersión de los datos (Cuadro 2), es decir, el promedio en este caso representa al grupo encuestado, viéndose así mayor homogeneidad en las respuestas de la muestra. Dado lo anterior se encuentra que estas dos variables fueron bien evaluadas, es decir son las practicas que mejor tienen implementadas las unidades productivas.

Cuadro 2. Estadísticos descriptivos procesos de Gestión Humana.

Table 2. Descriptive statistics Human Management processes.

Variable	n	Media	Desv. Std	min	max
Aprovisionamiento	17	1,09	0,45	0,33	2,00
Capacitación y entrenamiento	17	0,82	0,66	0,00	2,20
Compensación	17	1,68	0,67	0,33	2,83
Higiene y seguridad	17	0,74	0,56	0,00	1,67
Evaluación del desempeño	17	0,45	0,55	0,00	1,80

Fuente: Elaboración propia

Una tendencia muy similar se aprecia frente a la implementación de programas para la evaluación del desempeño laboral. La evaluación del desempeño es una verificación de logros, que permite a los administradores emprender planes de mejoramiento; este proceso consiste en definir los logros de objetivos de los trabajadores en sus actividades cotidianas, generando beneficios para la productividad y rentabilidad para las organizaciones. (Guartán et al., 2019, p. 16) En las unidades productivas evaluadas, un 52.9% de los administradores manifiestan no contar con este tipo de programas, y la proporción restante manifiesta cumplir aceptable e insatisfactoriamente. Sin embargo, al indagar sobre lo importante que consideran la aplicación de prácticas de gestión humana, el 41.18% respondió que lo consideran importante y un 35.29% indico que lo considera muy importante, frente a un 23.53% de administradores que indicaron que no consideran importante implementar dichas prácticas.

En cuanto a la seguridad y la salud del trabajo, según la organización internacional del trabajo y la organización mundial de la salud (OMS), la seguridad y salud en el trabajo, es una actividad direccionadaa controlar factores que pueden poner en peligro la integridad de los trabajadores en el desarrollo de una actividad laboral. (Ramírez et al., 2020, p. 39). En las unidades productivas objeto de estudio, fue posible determinar gracias a la información suministrada por los administradores, que no existe mucha adopción de programas para la gestión de los riesgos, toda vez que el 47% de los administradores reconocieron no contar con un programa de

gestión de la salud y la seguridad en el trabajo y un 29.4% reporta un cumplimiento insatisfactorio. Además, un 88.24% manifestó no llevar registros de accidentes y un 82.35% indicó que no se implementan registros de incapacidades en la unidad productiva (Cuadro 3).

Cuadro 3. Estadísticos descriptivos procesos de Gestión Humana.

Table 3. Descriptive statistics Human Management processes.

Variable	n	Media	Desviación std	min	max
Riesgos Psicosociales	62	1,88	0,29	1,18	2,36
Condiciones seguridad en el trabajo	62	1,85	0,56	0,92	3,00
Medio ambiente de trabajo	62	1,47	0,63	0,00	3,00
Clima social trabajo	62	2,30	0,45	1,33	3,00
Efectos colaterales trabajo	62	1,91	0,42	0,86	2,71

Fuente: Elaboración propia

Con relación a los riesgos psicosociales, estos se refieren a las relaciones entre el ambiente laboral, el contenido y las condiciones de trabajo, las competencias, las necesidades y creencias del trabajador, las percepciones y experiencias individuales ajenas al entorno laboral que pueden tener injerencia en la salud, el rendimiento y la satisfacción laboral (Sierra, 2021, p. 11). En tal sentido en las unidades productivas analizadas, el nivel de exposición a riesgos por parte de los trabajadores es medio bajo y las respuestas representan a todo el grupo encuestado. Lo mismo sucede con las demás variables a excepción del medio ambiente de trabajo en donde la desviación estándar es más alta, lo que implica que las respuestas son dispersas, es decir no representan a todo el grupo.

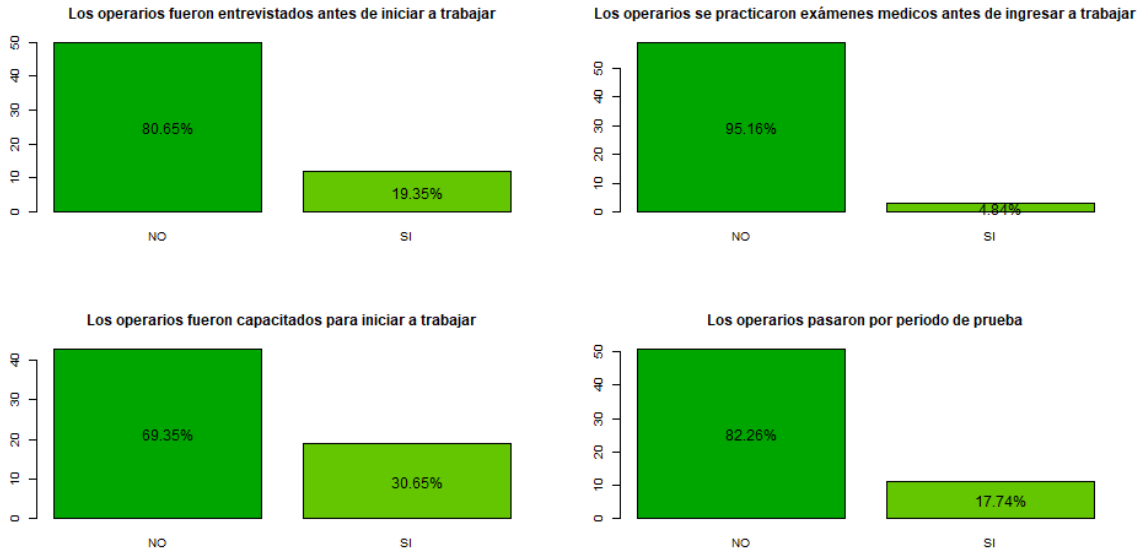

Figura 1: Adopción de prácticas de gestión del talento humano diagnosticado a través de los operarios del sistema productivo.

Figure 1: Adoption of human talent management practices diagnosed through the operators of the production system.

Con ayuda del grupo de los operarios se diagnosticó que la adopción de prácticas para la selección de talento humano es baja, debido a que más del 80% de los encuestados no fueron entrevistados para adquirir su empleo y el 95.15% no se practicaron exámenes médicos de ingreso. Además, se determinó que el 69.35% de los operarios no recibió un entrenamiento para iniciar sus labores y el 82.26% no reconoció haber cursado por un periodo de prueba.

Con este grupo también fue posible diagnosticar algunas cifras relacionadas con el bienestar laboral y psicosocial de los empleados, se determinó que una proporción del 35.48% de los operarios manifestó que continúa pensando en el trabajo cuando está en casa, frente a un 20.9% que nunca lo hace, un 29% lo hace algunas veces y un 14.5% raramente se preocupa por el trabajo estando en su hogar. En términos generales puede apreciarse que un 69.3% de los operarios encuestados se siente bien trabajando en la unidad productiva, un 27.42% se siente excelente y tan solo un 3.22% manifestaron sentirse regular o mal desempeñando su puesto de trabajo (Figura 2).

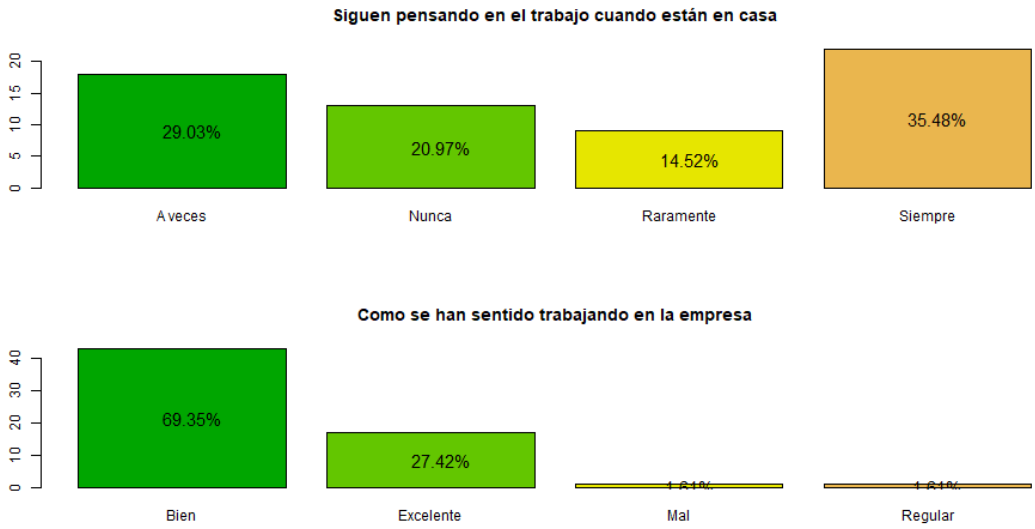

Figura 2: Bienestar laboral y psicosocial de los empleados

Figure 2: Occupational and psychosocial well-being of employees

Evaluación de las dimensiones de la gestión del talento humano.

La computación de los puntajes obtenidos en cada dimensión, según lo propuesto para el Índice de Gestión del Talento Humano, permitió identificar qué, los aspectos que mejores indicadores presentan las unidades evaluadas son: La formalidad laboral de los puestos de trabajo, seguido de la dimensión de seguridad y salud en el trabajo. Si bien, el análisis descriptivo inicial, permitió identificar que la mayoría de los sistemas no cuentan con un programa de seguridad y salud en el trabajo establecido.

En contraparte los índices más bajos correspondieron a las dimensiones: Evaluación del desempeño laboral. Seguido de esta, se encuentra la dimensión de capacitación y entrenamiento del personal, siendo un claro reflejo del escaso entrenamiento y conocimiento que reciben los operarios para el desarrollo y mejora de sus funciones. Las prácticas de aprovisionamiento del personal e iniciación laboral también se clasifican como bajas, tal como se vio con anterioridad, esto obedece a la ausencia de la adopción de prácticas de reclutamiento, selección e inducción del personal. Las dimensiones de compensaciones laborales se

encuentran en niveles medios, aunque más del 85% de los operarios indicaron sentirse satisfechos con sus remuneraciones salariares, no existen formas definidas para asignar categorías salariales y se encontró baja implementación de incentivos basados en el cumplimiento de metas. En cuanto a las prácticas de bienestar laboral reflejan insipientes prácticas y programas para generar bienestar laboral en las unidades productivas. En la Figura 3, pueden comparase las medias y la distribución de los datos observados para cada dimensión.

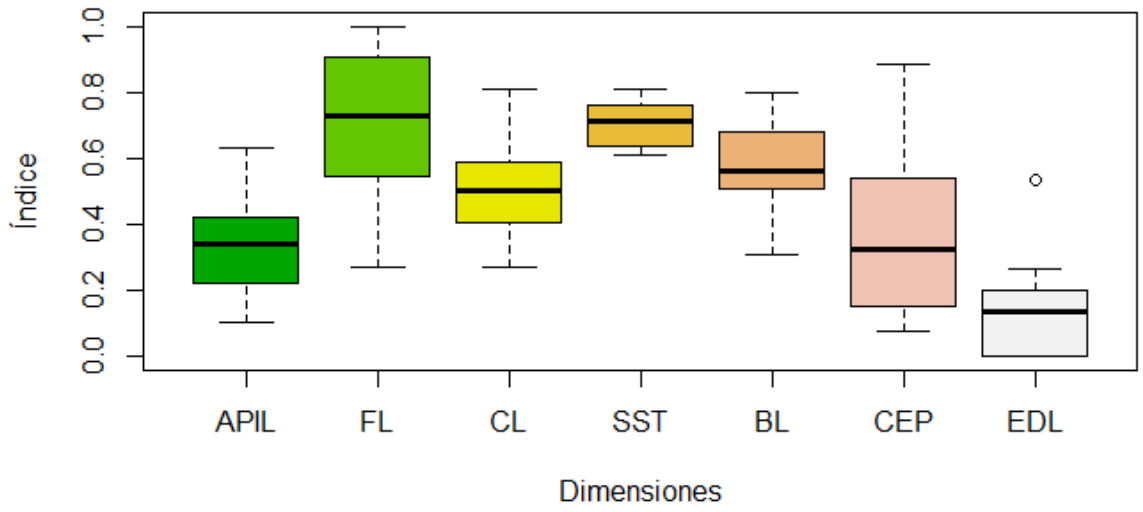

Figura 3. Comparación de medias obtenidas en las dimensiones propuestas.

Figure 3. Comparison of means obtained in the proposed dimensions.

En términos generales, el índice de gestión del talento humano (IGTH) compuesto por la sumatoria de los índices de las dimensiones evaluadas anteriormente y escalada a un rango entre 0 y 1, permite inferir que las prácticas de gestión del talento humano de los sistemas de producción de leche en el municipio objeto de estudio son medias a bajas, si se tiene en cuenta que todas las dimensiones que conforman el índice tienen la misma importancia.

Finalmente, se calcularon y graficaron coeficientes de correlación de tipo Spearman para medidas no paramétricas de rango, tal como puede apreciarse en la Figura 4. Puede apreciarse que el valor total de IGTH está fuertemente correlacionado con la dimensión APIL (r=0.93), esto indica que esta dimensión es un claro diferencial para las unidades productivas que obtuvieron índices más elevados.

También se encontró una correlación moderada entre IGTH y las dimensiones CL (r = 0.70) y CEP (r=0.68) indicando que estas variables son las principales responsables de la variabilidad del índice final de los predios. También pude resultar de interés la correlación encontrada entre la dimensión APIL y CEP (r= 0.81), indicando que las empresas que mejor gestionan sus procesos de reclutamiento, selección e inducción también cuentan con los niveles más altos en entrenamiento y capacitación del personal.

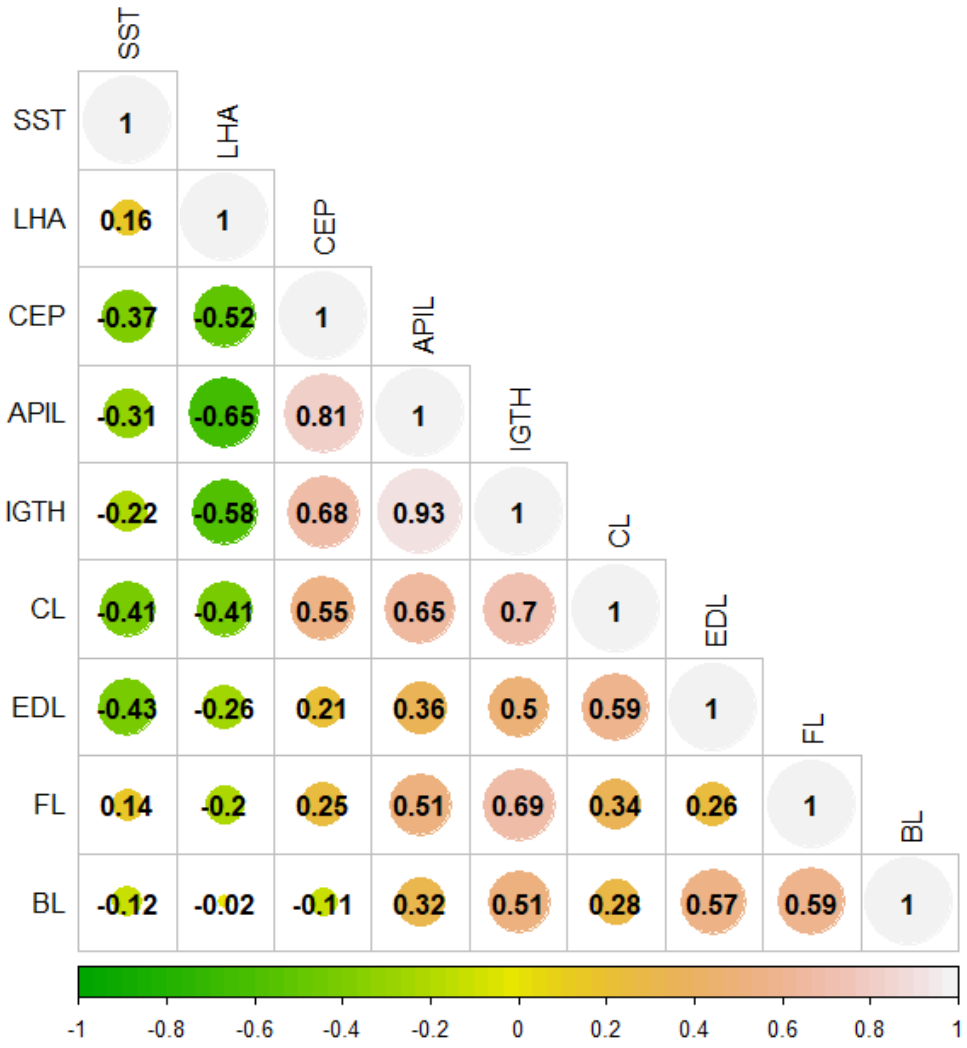

Figura 4. Correlograma de las dimensiones evaluadas, el índice de gestión del talento humano y los litros de leche producidos por hectárea en cada unidad productiva.

Figure 4. Correlogram of the dimensions evaluated, the human talent management index and the liters of milk produced per hectare in each production unit

Al incluir en la matriz de correlación una variable de tipo productiva diagnosticada por medio de los administradores: litros de leche promedio producidos diariamente por hectárea en producción (LHA), pudo apreciarse una relación inversamente proporcional con el IGTH (r= -0.58), esto indica que en el municipio existe una tendencia, aunque moderada, a que los sistemas productivos con mayor intensidad productiva cuentan con peores practicas asociadas a la gestión del talento humano, puede inferirse que a mayor tamaño del predio y mayor carga de animales, las tareas administrativas se tornan más exigentes, restando capacidad para gestionar con mayor atención el personal del sistema. Sin embargo, el alcance de este estudio no es inferir si esos predios tienen peores rentabilidades a causa de la baja gestión del personal, ya que la variable LHA no contempla la rentabilidad final de cada litro de leche producido.

CONCLUSIONES

Los sistemas de lechería especializados en Santa Rosa de Osos tienen deficiencias en la gestión del talento humano debido a la falta de adopción de prácticas de reclutamiento y selección. La mayoría de los empleados consiguen trabajo a través de recomendaciones o directamente de los trabajadores, lo que indica la existencia de circuitos cerrados de contratación. Es crucial implementar programas para medir el desempeño laboral y mejorar las compensaciones. La capacitación y el entrenamiento son necesarios, ya que hay una falta de formación cualificada en el sistema. Además, se deben reforzar las prácticas para el bienestar laboral y reconocer la importancia de las mujeres en estos roles. Aunque se percibe la actividad como segura, la gestión de riesgos es insuficiente, lo que requiere fortalecer las capacidades administrativas para cumplir con las normativas. Todos los programas deben adaptarse a personas con bajos niveles educativos, lo que implica estrategias pedagógicas específicas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos especiales a los productores de leche ubicados en el municipio de Santa Rosa de osos y a la empresa Lácteos Betania por posibilitar el contacto e ingreso a las unidades productivas y a la institución Universitaria Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid que financió la investigación.

LITERATURA CITADA

Armijos Mayon, F. B., Bermúdez Burgos, A. I., & Mora Sánchez, N. V. (2019). Gestión de administración de los recursos humanos. Universidad y Sociedad, 11(4), 163-170. Recuperado de http://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus

Changuán, M. P. O. (2020). Capacitación del talento humano y productividad: Una revisión literaria. Eca sinergia, 11(2), 166-173. file:///C:/Users/57310/Downloads/2254-Art%C3%ADculo-8337-1-10-20200713.pdf

Echavarría, J. J. (2001). Colombia en la década de los noventa: neoliberalismo y reformas estructurales en el trópico. *Cuadernos de economía*, 20(34), 57-102.

Enguídanos, M. I. (2017). *Análisis, Descripción y Valoración de Puestos de Trabajo en las Organizaciones.* (Tesis de maestria, Universidad Pontificia de Comillas ICADE-ICAI). Recuperado de: https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/24010

Franco-López, J. A., & Bedoya-Zapata, J. (2018). Análisis de modelos del talento humano aplicados en organizaciones pymes (Analysis of Human Talent Models Applied at SMEs). *Revista CEA*, *4*(7). Recuperado de: https://ssrn.com/abstract=3519472

González, Z. R., Guzmán, H. L., & Gómez, J. M. (2020). La gestión de las compensaciones como estrategia para la retención, la eficiencia y la eficacia del talento humano: caso de estudio método hay (sistema de escalas y perfiles de valoraciones de puestos). *Dictamen Libre*, (27), 87-98. https://doi.org/10.18041/2619-4244/dl.27.6645

Guartán, A., Torres, K., & Valarezo, J. K. O. (2019). La evaluación del desempeño laboral desde una perspectiva integral de varios factores. *593 Digital Publisher CEIT*, *4*(6), 13-26. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7144062

Jiménez-González, G. M., Rivera-Ladino, A. M., & Gaibao-Pérez, M. C. (2019). Las condiciones de bienestar laboral en una empresa del sector hotelero. Estudio de caso en Medellín, Colombia. Prospectiva, (28), 203-226. https://doi.org/10.25100/prts.v0i28.7225

Junco, V. H., & Naranjo, N. V. S. (2018). Modelo de gestión de talento humano por competencias de la ONG para la discapacidad Fundación Cuesta Holguín. Revista Cientifica Ecociencia, 5(3), 1-36. https://doi.org/10.21855/ecociencia.53.111

Mejía-Giraldo, A., Bravo-Castillo, M., & Montoya-Serrano, A. (2013). El factor del talento humano en las organizaciones. *Ingeniería industrial*, *34*(1), 2-11. Recuperado de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1815-59362013000100002

Mojica Nieto, L. M., & Ordoñez Gómez, M. A. (2020). ¿Qué explica el trabajo de las empresas pymes en Colombia?. (Tesis de maestría, Colegio de estudios superiores de Administración). Recuperado de: https://repository.cesa.edu.co/bitstream/handle/10726/2524/MFC_1136883224_2020_1.pdf?sequence=6&isAllowed=y

Minagricultura - UPRA. (2020). Prospectiva 2039 Cadena Láctea. Recuperado de: http://www.andi.com.co/Uploads/20200831_PPT_ProspectivaGA.VF.pdf

Molina, S. G. (2017). Analisis de puestos de trabajo y selección de personal. (Trabajo de grado, *Universidad Miguel Hernández de Elche.* Recuperado de: http://dspace.umh.es/bitstream/11000/4425/3/TFG%20Garc%C3%ADa%20Molina%2C%20Sergio.pdf

Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. International journal of morphology, 35(1), 227-232. http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037

Pérez Buelvas, C., Arboleda Zapata, E. (2020). *Calidad de vida laboral (CVL) y productividad zootécnica en hatos lecheros en pastoreo de los municipios de Don Matías y La Unión (Antioquia, Colombia). Agronegocios y ganaderia sostenible.* Venezuela. : Universidad del Zulia; Universidad Nacional Toribio Rodriguez de Mendoza de Amazonas. http://doi.org/10.38202/agronegocios

Ramírez, J., Pinzón Silva, D. C., Téllez Avila, E. M., Rojas Zárate, D., Hernández Cubillos, G. A., García Castañeda, A. G., Vargas Monroy, A. M., Benavides Piracón, J. A., Jiménez Forero, C. P., Rosero Torres, L. E., Peralta Puentes, A., Lagos Martínez, L. F., & Malagón Rojas, J. N. (2020). Revisión bibliométrica de trabajos de investigación de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) en Colombia. *Revista De Saúde Coletiva Da UEFS*, *10*(1), 38–48. https://doi.org/10.13102/rscdauefs.v10i1.5088.

Restrepo Escobar, F., & Arias Vargas , F. J. (2016). Las prácticas de gestión del talento humano en empresas agropecuarias del sector bananero en Colombia. Journal of Agriculture & Animal Sciences, 4(2). Recuperado de: http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/handle/10567/1407

Ricaurte, M., Rodríguez, M., Medina, H. R. B., & Romero, M. E. (2020). Sistema de compensación basado en evaluación de desempeño en la industria de elaboración de alimentos: caso ingenio azucarero. Compendium: Cuadernos de Cuadernos de Economía y Administración, 7(1), 34-45.

Rivero-Remírez, Y. (2019). Evaluación del desempeño: tendencias actuales. *Revista Archivo Médico de Camagüey*, *23*(2), 159-164. Recuperado de: http://scielo.sld.cu/pdf/amc/v23n2/1025-0255-amc-23-02-159.pdf

Rodriguez, S.J. L., & Calcerrada, S. S. (2020). La importancia de gestionar el proceso de reclutamiento, selección y socialización en el sector del autobús: un caso de éxito. *Revista espacios,* 41(03).

Rodríguez, R.J., & Reguant, A.M. (2020). Calcular la fiabilidad de un cuestionario o escala mediante el SPSS: el coeficiente alfa de Cronbach. *REIRE Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, *13*(2), 1-13.

Sierra Hernaiz, E. (2021). Delimitación del concepto de riesgo psicosocial en el trabajo. *Foro: Revista De Derecho*, (35), 8–27. https://doi.org/10.32719/26312484.2021.35.1

Tamayo, K. D. C. (2018). Diseño de un modelo de gestión de seguridad y salud en el trabajo. *Contexto*, *7*, 38-46. https://doi.org/10.18634/ctxj.7v.0i.837

Torres-Flórez, D., Velasquez-Díaz, J. S., & Hernández-Gónzalez, J. W. (2020). Importancia del reclutamiento y la selección del personal en el sector hotelero: Caso Villavicencio-Colombia. *Desarrollo Gerencial*, *12*(1), 1-23. https://doi.org/10.17081/dege.12.1.3619

Artículo científico

CIENCIA E INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA
DE LA UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO
Vol. 5, Núm. 1 (2023), pp. 18-28.

ESTIMACIÓN DE VIDA DE ANAQUEL DE PRODUCTOS CON HUMEDAD BAJA DEPENDIENTE DEL MATERIAL DE EMPAQUE [a]

SHELF LIFE ESTIMATION SOFTWARE FOR LOW MOISTURE PRODUCTS DEPENDING ON THEIR PACKAGING MATERIAL

Tijerina-Berzosa, D.; Soto-Castro, RD; Atta-Delgado, M.X.; González de la Garza, D; Torres, J.A.*

[1]*Tecnológico de Monterrey. Tecnologico de Monterrey, School of Engineering and Sciences, Centro de Biotecnología FEMSA, Avenida Eugenio Garza Sada 2501, Monterrey, NL, 64849 Mexico; A01197131@tec.mx (D.T.B); A01706104@tec.mx (R.D.S.C); marlenne.atta@tec.mx (M.X.A.D).; josetorres@tec.mx (J.A.T.B).*

Fecha de envío: 13 de enero 2023 Fecha de publicación: 16, diciembre, 2023

Resumen:
La retención de la calidad e inocuidad de productos de humedad baja e intermedia requiere de un control riguroso en los valores de a_w. Con el objetivo de disminuir el desperdicio de alimentos por cambios en su contenido de humedad, se diseñó un programa en Excel Office 360 en el que se empleó la ecuación de Guggenheim–Anderson–de Boer (G.A.B.) para describir la isoterma del producto. La herramienta computacional estima el efecto de la propiedad de barrera a la humedad del empaque en la vida de anaquel utilizando métodos de cálculo probabilísticos y determinísticos, es decir considerando o no la variabilidad estadística de los parámetros involucrados en la estimación. En su versión inicial, el programa incluyó isotermas de sorción para hojuelas de cebolla, flatbread de trigo extruido y durazno deshidratado. La isoterma fue linealizada en el rango entre la a_w inicial, crítica (cuando el producto falla), y la de equilibrio con el medio ambiente. La determinación de la vida de anaquel consideró la velocidad de transmisión de vapor de agua (VTVA o WVTR por sus siglas en inglés) de tres materiales de empaque (PET/Nylon/PP, Nylon-EVOH/CPP y HB-PET/CPP), el área total del empaque, y el peso neto del producto. Se encontró que los productos con baja higroscopicidad, envases con mayor VTVA, y los envases pequeños con poco gramaje presentan menor vida de anaquel. Finalmente, el método probabilístico permitió garantizar la vida de anaquel con el margen de confianza hasta el final de la vida de anaquel declarada por el productor. En este estudio se utilizó un 80% de confianza que es lo recomendado cuando el producto falla por calidad.

Palabras clave: LMF, IMF, estimados probabilísticos y determinísticos, Guggenheim–Anderson–de Boer.

[a] Proyecto de investigación realizado en colaboración entre alumnas de pregrado y posgrado del Tecnológico de Monterrey.

Abstract:
The retention of quality and safety of low and intermediate moisture products requires rigorous control of a_w values. With the objective of reducing food waste due to changes in their moisture content, the Excel Office 360 program developed used the Guggenheim–Anderson–de Boer (G.A.B.) equation used to describe the product isotherm. The computational tool estimates the effect of the moisture barrier property of the packaging on the shelf life using probabilistic and deterministic calculation methods, that is, considering or ignoring the statistical variability of the parameters involved in the estimation. In its initial version, the program included sorption isotherms for onion flakes, extruded wheat flatbread, and dehydrated peach. The isotherm was linearized in the range between the initial, critical (when the product fails), and the equilibrium a_w with the environment. The determination of the shelf life considered the water vapor transmission rate (VTVA or WVTR) of three packaging materials (PET/Nylon/PP, Nylon-EVOH/CPP and HB-PET/CPP), the total area of the package, and the net weight of the product. It was found that products with low hygroscopicity, containers with higher VTVA, and small containers with low grammage have a shorter shelf life. Finally, the probabilistic method made it possible to guarantee the product shelf life until the end of the shelf life declared by the producer. In this study, an 80% confidence level was used, which is recommended when the product fails due to quality.

Keywords: LMF, IMF, deterministic and probabilistic estimations, deterministic model, Guggenheim–Anderson–de Boer.

INTRODUCCIÓN

La vida de anaquel es el tiempo en el que un alimento es agradable y seguro de consumir después de condiciones específicas de procesamiento, envasado y almacenamiento (Escobedo-Avellaneda et al., 2012; Robertson & Lee, 2021; Rodríguez-Martínez et al., 2020). Los productos de humedad intermedia y baja (IMFs y LMFs por sus siglas en inglés) son estables a temperatura ambiente. Por ello, pueden ser utilizados como apoyo a la población en desastres naturales y en el combate a la inseguridad alimentaria en familias que no disponen de un refrigerador (Fatmah et al., 2021; Kasim et al., 2017). En los LMFs, la estabilidad se alcanza controlando la actividad de agua ($a_w < 0.60$) por medio del secado. A este nivel de a_w, el crecimiento de microorganismos no es posible y se minimiza la velocidad de las reacciones enzimáticas (Escobedo-Avellaneda et al., 2012). En los IMFs con mayor contenido de humedad, la estabilidad se logra aumentando la concentración de solutos de bajo peso molecular tales como sal común y azúcares para formular productos con ($0.75<a_w<0.85$) o sin uso de agentes fungistáticos ($0.60<a_w<0.75$) (Karel, 1973, 1976; Motoki et al., 1982; Rahman & Labuza, 2007).

La humedad y temperatura del ambiente son factores críticos en la estabilidad de los IMFs y LMFs por sus efectos sobre la a_w (Barbosa-Cánovas et al., 2007). Los cambios de la a_w pueden controlarse seleccionando materiales de envase con la propiedad de barrera a la transferencia de humedad adecuada para la vida de anaquel deseada (Robertson & Lee, 2021; Rodríguez-Martínez et al., 2020). Esta se reporta típicamente como la velocidad de transmisión de vapor de agua (VTVA o WVTR por sus siglas en inglés) del empaque (Labuza, 1984; Taoukis et al., 1988).

Las isotermas son representaciones matemáticas del contenido de humedad (*m*, base seca) de un alimento a temperatura y presión constante en función de su a_w (Iglesias & Chirife, 1982). Entre los modelos predictivos para isotermas, la Ecuación (1) de Guggenheim–Anderson–de Boer (G.A.B.) con los parámetros c_1, k, y m_o, es un modelo frecuentemente utilizado (Blahovec & Yanniotis, 2008).

$$m = \frac{c_1 \; k \; m_o \; Aw}{(1 - \; kAw)\;(1 - \; kAw + \; c_1 kAw)} \qquad (1)$$

Por otro lado, la Ecuación (2) utilizada por primera vez por Karel and Labuza (1969) proporciona estimaciones acertadas de la vida de anaquel (θ) de un producto susceptible a daño por humedad en función de la propiedad de barrera de su material de envase (Robertson & Lee, 2021; Rodríguez-Martínez et al., 2020). El proveedor del material de empaque reporta típicamente la *VTVA* por unidad de área del material y medida a temperatura y gradiente de humedad relativa ($\Delta\%HR$) constantes. La *VTVA* permite estimar la permeancia (k/x) utilizando la Ecuación 3.

$$ln\left[\frac{m_e \; - \; m_i}{m_e \; - \; m_c}\right] \; = \; \frac{k}{x}\frac{A}{W_s}\frac{p_v^o}{b} \; \theta \qquad (2)$$

$$\frac{k}{x} = permeancia = \frac{VTVA}{\Delta p_v} \qquad (3)$$

$$\Delta p_v = \Delta\%HR \cdot p_o \qquad (4)$$

La vida de anaquel depende también del área del envase (A) y del contenido de sólidos (W_s) que se calcula conociendo el peso neto del producto (W) y el contenido inicial de humedad en base seca (m_i). Este último se calcula con la a_{wi} y el intercepto y la pendiente b de la isoterma linealizada en la zona de trabajo, vale decir entre a_{wi} y la a_w crítica que define el punto de falla del producto con la que se estima el contenido de humedad crítico (m_c). Por último, la temperatura del medio ambiente se refleja en el valor de la presión de vapor de agua (p^o_v) y la humedad relativa se refleja en la a_w de equilibrio del producto sin envase (a_{we}) con la que se estima el contenido de humedad de equilibrio (m_e).

El objetivo de esta investigación fue desarrollar una herramienta computacional que incorpore cálculos probabilísticos en la selección del material de envase y así reducir el desperdicio de IMFs y LMFs. Ello requiere diseñar productos con el margen de confianza deseado para lograr la vida de anaquel necesaria para llegar al consumidor final (Torres & Wu, 2018). El margen de confianza deseado se alcanza incorporando la variabilidad de los parámetros en las Ecuaciones 1-2 (Rodríguez-Martínez et al., 2020). En su primera versión, la herramienta incluye un reducido número de productos, entre ellos hojuelas de cebolla, flatbread de trigo extruido, durazno deshidratado. Lo mismo para los materiales de los empaques (PET/Nylon/PP, Nylon-EVOH/CPP y HB-PET/CPP). El usuario podrá fijar el grado de confianza aceptable (X%) de la solución probabilística para la vida de anaquel.

MATERIALES Y MÉTODOS

Programa en Excel

Los cálculos iniciales y la solución del problema se realizaron en Excel Office 365. Utilizando los valores de a_w reportados para sales en solución sobresaturada (López-Malo et al., 1994) y con los parámetros de la ecuación de GAB para hojuelas de cebolla (Escobedo-Avellaneda et al., 2012), flatbread de trigo (Marzec & Lewicki, 2006), y durazno deshidratado (Staudt et al., 2013), se calculó la humedad correspondiente a cada sal. Para los cálculos probabilísticos de humedad, se usó primero el generador de números aleatorios uniformes entre 0 y 1, y luego la fórmula de Excel “norm.inv” para obtener 500 valores de a_w y de humedad utilizando la media y desviación estándar reportadas (Escobedo-Avellaneda et al., 2012; López-Malo et al., 1994; Marzec & Lewicki, 2006; Staudt et al., 2013).

Posteriormente, se linealizó la isoterma entre los valores de sales que estuvieran entre la a_w inicial (a_{wi}) y la a_w a la que el producto falla ($a_{wcrítica}$). Con la isoterma linealizada se obtuvieron 500 valores del contenido de humedad en base seca para el punto inicial (m_i), crítico (m_c) y de equilibrio con el medio ambiente (m_e). Con estos valores se calculó el argumento de Ln en la Ecuación (2). El contenido de solidos (*Ws*) se calculó 500 veces con el peso neto del producto (W) y el valor de m_i en base humeda ($m_{i,bh}$). La VTVA se obtuvo mediante la generación de 500 números aleatorios entre 0 y 1, y nuevamente con la fórmula de Excel "norm.inv", donde la media y desviación estándar utilizadas fueron las de la base de datos para el material elegido. Los datos obtenidos fueron utilizados para el cálculo de la permeancia (k/x) como se muestra en la Ecuación (3). La vida de anaquel en días (θ) se obtuvo con la Ecuación (2) y convertida a meses se la reporta como su media y desviación estándar. Además, se utilizó la fórmula de Excel "PERCENTIL.EXC" con los argumentos de vida de anaquel en meses y el porcentaje de fallo (1-%confianza) para reportar la vida de anaquel con el nivel de confianza deseado por el usuario.

Valores utilizados en los ejemplos de cálculo

El Cuadro 1 ilustra valores de los parámetros de VTVA y dimensiones de empaques (Zhang et al., 2015) y son los valores utilizados en los ejemplos de cálculo reportados.

Cuadro 1. Características de los materiales de empaques estudiados (Zhang et al., 2015).

Table 1. Researched material characteristics (Zhang et al., 2015).

Material	VTVA (g/m²*día)	Dimensión (cm)	Capacidad (g)	Tipo de pouch
PET/Nylon/PP	5.190	11 x 13 x 4 11 x 16 x 6 13 x 17 x 6	227 340 454	Fondo plano
Nylon-EVOH/CPP	4.120	10 x 14 13 x 18 16 x 20	57 113 227	Plano
HB-PET/CPP	0.440	10 x 14 13 x 18 16 x 20	57 113 227	Plano

El Cuadro 2 muestra los valores utilizados para los parámetros de G.A.B. para hojuelas de cebolla (Escobedo-Avellaneda et al., 2012), flatbread de trigo (Marzec & Lewicki, 2006), y durazno deshidratado (Staudt et al., 2013). Para la cebolla, se utilizó una $a_{wcrítica}$ de 0.40 pues su vida de anaquel termina cuando sufre de caramelización (Escobedo-Avellaneda et al., 2012). En el caso del flatbread de trigo, se utilizó una $a_{wcrítica}$ de 0.53 para evitar el deterioro de la textura del producto (Marzec & Lewicki, 2006). Finalmente, en el durazno deshidratado, la $a_{wcrítica}$ fue de 0.70 lo que minimiza el riesgo de la formación de hongos sin uso de fungistáticos (Karel & Heidelbaugh, 1973; Torres et al., 1989). La a_w de equilibrio utilizada fue para el caso de 70% RH. Finalmente, la variabilidad de la a_w de las 10 sales utilizadas son los valores reportados por López-Malo et al. (1994).

Cuadro 2. Parámetros de G.A.B. para los productos estudiados

Table 2. G.A.B. parameters for each researched product

Producto	m_o	c_1	k
Hojuelas de cebolla (Escobedo-Avellaneda et al., 2012)	7.420 ± 0.230	2.210 ± 0.140	0.970 ± 0.010
Flatbread de trigo (Marzec & Lewicki, 2006)	5.321 ± 0.361	42.012 ± 4.115	0.860 ± 0.046
Durazno deshidratado (Staudt et al., 2013)	11.58 ± 0.43	1.24 ± 0.08	0.95 ± 0.01

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las isotermas de los productos utilizadas en los ejemplos de cálculo considerando la variabilidad de los parámetros de G.A.B. (Escobedo-Avellaneda et al., 2012; Marzec & Lewicki, 2006; Staudt et al., 2013) y de la a_w de las sales utilizadas (López-Malo et al., 1994) se muestra en la Figura 2. Ello generó 500 pares de valores de contenido de humedad y de a_w para cada nivel de la última. En la Figura 2 se observa que la variabilidad es mucho menor en el eje horizontal debido a que los valores de la a_w de las sales tienen una desviación estándar muy pequeña (entre 0.001 y 0.003, (López-Malo et al., 1994)). Lo opuesto ocurre en el eje vertical pues la variabilidad de los parámetros de G.A.B. es significativamente mayor (Cuadro 2).

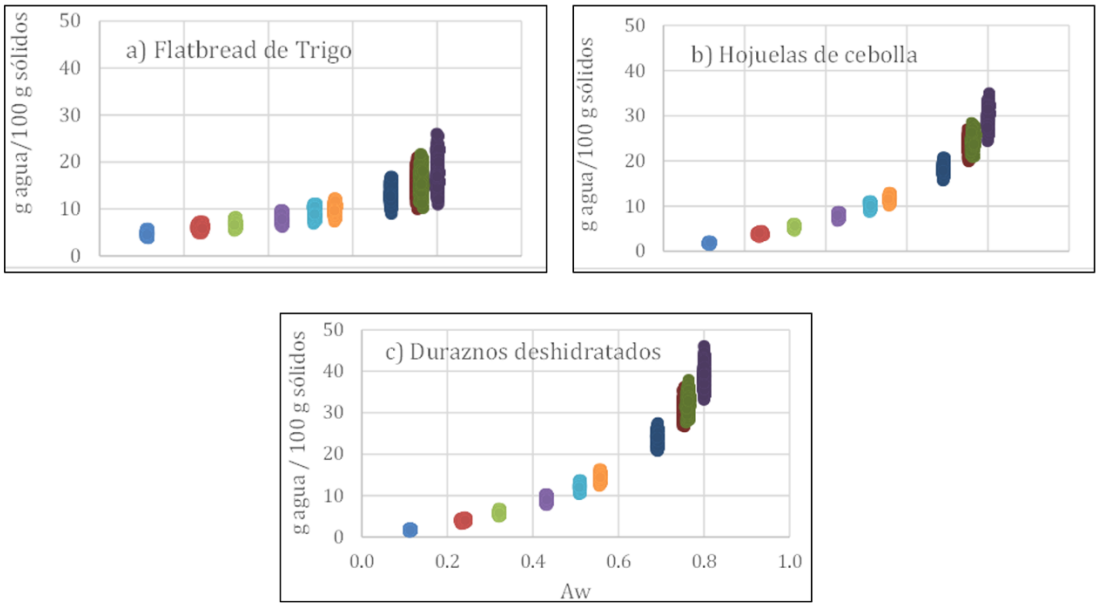

Figura 2. Isotermas para los productos utilizados en los ejemplos de calculo (n = 500 para cada nivel de aw)

Figure 2. Isotherms for the researched products used in the calculation examples (n = 500 for each aw level).

Dado que el flatbread de trigo fue el menos higroscópico, su vida de anaquel fue menor ya que la permeación de la misma cantidad de humedad a través del envase tendrá un mayor efecto en la a_w del producto. El caso opuesto fue el del durazno deshidratado que presentó la mayor higroscopía y por lo tanto su vida de anaquel para el mismo material de envase es la mayor. El efecto de la higroscopicidad del

producto se ve reflejada en los valores de la vida de anaquel reportada en el Cuadro 3 para $a_{winicial}$ de 0.22 ± 0.05, $a_{wequilibrio}$ de 0.70 ± 0.05, $a_{wcrítica}$ de 0.4, peso neto de W = 113 g, y área de envase A = 0.0468 m^2. Para los tres materiales de envase estudiados (Nylon-EVOH/CPP, PET/Nylon/PP, y HB-PET/CPP) se observa que la vida de anaquel aumenta en el siguiente orden: flatbread < hojuelas de cebolla < duraznos deshidratados (Cuadro 3). Reflejando la propiedad de barrera de los materiales estudiados, la vida de anaquel aumenta en el siguiente orden: PET/Nylon/PP < Nylon-EVOH/CPP < HB-PET/CPP (Cuadro 3).

Cuadro 3. Vida de anaquel de productos de higroscopía baja, media y alta usando tres materiales de envase y determinada bajo las mismas condiciones de $a_{winicial}$ = 0.22 ± 0.05, $a_{wequilibrio}$ = 0.70 ± 0.05, $a_{wcrítica}$ = 0.4, peso neto W = 113 g, y área del envase A = 0.0468 m^2

Table 3. Shelf life of products with low, medium, and high higroscopy using three different packaging materials under the same conditions: $a_{winicial}$ = 0.22 ± 0.05, $a_{wequilibrio}$ = 0.70 ± 0.05, $a_{wcrítica}$ = 0.4, net weight W = 113 g, and packaging area A = 0.0468 m^2

	Vida de anaquel promedio (meses)		
Producto	**PET/Nylon/PP**	**Nylon-EVOH/CPP**	**HB-PET/CPP**
Flatbread de trigo	1.1 ± 0.4	1.4 ± 0.4	7.2 ± 2.1
Hojuelas de cebolla	1.8 ± 0.5	2.3 ± 0.7	14.6 ± 4.6
Durazno deshidratado	2.2 ± 0.6	2.7 ± 0.8	28.5 ± 8.4

Otros factores con efecto importante en la vida de anaquel son la dimensión del envase y el peso neto del producto. El Cuadro 4 muestra que al aumentar el peso neto del producto desde un envase pequeño (57 g) a uno mayor (227 g) se necesitan envases de mayor dimensión como los reportados en el Cuadro 1 (Zhang et al., 2015).

El Cuadro 4 ilustra claramente que los productos en envases de mayor tamaño y peso neto tienen una vida de anaquel mayor. Los valores de vida útil en dicho cuadro son determinísticos, es decir, se calcularon sin considerar la variabilidad de los datos y son similares a los valores promedio que se obtienen al considerar la

variabilidad. Por definición de valor medio, esto implica que ignorar la variabilidad de la información lleva a soluciones con una probabilidad de fallo de 50%. Un nivel de confianza típico para la vida de anaquel que falle por consideraciones de calidad es 80%. Esto quiere decir que al final de ese valor de vida de anaquel, solamente 20% de los productos estarán por encima del $a_{wcrítica}$. Si la vida de anaquel está ligada a un riesgo de salud para el consumidor, se reportaría con un 95% de confianza para alimentos y 99% para medicamentos (Torres, 2022).

Cuadro 4. Vida de anaquel en meses de diferentes presentaciones de hojuelas de cebolla empaquetadas a 30°C y 73% HR con Nylon-EVOH/CPP y HB-PET/CPP

Table 4. Shelf life in months of different presentations of onion flakes packaged at 30°C and 73% HR with Nylon-EVOH/CPP and HB-PET/CPP

Peso (g)	Área (m²)	Nylon-EVOH/CPP			HB-PET/CPP		
		Determinístico	Probabilístico Mean ± DS	80%	Determinístico	Probabilístico Mean ± DS	80%
57	0.0280	1.1	1.1 ± 0.3	0.9	11.4	11.8 ± 3.5	9.1
113	0.0468	2.2	2.3 ± 0.7	1.8	22.6	23.4 ± 6.9	18.2
227	0.064	4.4	4.6 ± 1.3	3.5	45.3	47.0 ± 13.8	36.5

CONCLUSIÓN

El método probabilístico en la evaluación de la vida de anaquel es una herramienta útil para la toma de decisiones al momento de diseñar empaques para diseñar nuevos productos. La aplicación de ingeniería probabilística en la industria alimentaria permite el desarrollo de productos que garanticen la vida de anaquel invirtiendo una menor cantidad de recursos iniciales para pruebas en laboratorio. Además, se reduce el desperdicio de alimentos, se maximiza la rentabilidad de la empresa, y se aumenta la certeza de que el consumidor reciba un producto de calidad. Materiales de envase con mayor VTVA, así como envases pequeños y poco contenido de producto tienen menor vida de anaquel que aquellos en presentaciones grandes o familiares. Finalmente, los productos con alta higroscopía tienen una mayor vida de anaquel debido a que la permeación de la misma cantidad de humedad tiene un menor efecto en la a_w del producto.

LITERATURA CITADA

Barbosa-Cánovas, G. V., Fontana, A. J., Schmidt, S. J., & Labuza, T. P. (2007). *Water activity in foods: Fundamentals and applications*. Wiley-Blackwell.

Blahovec, J., & Yanniotis, S. (2008). GAB generalized equation for sorption phenomena. *Food and Bioprocess Technology*, *1*(1), 82-90.

Escobedo-Avellaneda, Z., Velazquez, G., Torres, J. A., & Welti-Chanes, J. (2012). Inclusion of the variability of model parameters on shelf-life estimations for low and intermediate moisture vegetables. *LWT - Food Science and Technology*, *47*(2), 364-370.

Fatmah, F., Utomo, S. W., & Lestari, F. (2021). Broccoli-soybean-mangrove food bar as an emergency food for older people during natural disaster. International Journal of Environmental Research and Public Health. Apr 1;18(7):3686., *18*(3686).

Iglesias, H. A., & Chirife, J. (1982). *Handbook of Food Isotherms: Water Sorption Parameters for Food and Food Components*. Academic Press Inc.

Karel, M. (1973). Recent research and development in the field of low moisture and intermediate moisture foods. *CRC Critical Reviews in Food Technology*, *3*, 329-373.

Karel, M. (1976). Technology and application of new intermediate moisture foods. In R. Davies, G. G. Birch, & K. J. Parker (Eds.), *Intermediate Moisture Foods* (pp. 4-31). Applied Science Publishers.

Karel, M., & Heidelbaugh, N. D. (1973). Recent research and development in the field of low-moisture and intermediate-moisture foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *3*(3), 329-373.

Karel, M., & Labuza, T. P. (1969). *Optimization of protective packaging of space foods (U.S. Air Force Contract F-43-609-68-C-0015)*.

Kasim, R., Ahmad, L., Une, S., Bait, Y., & Liputo, S. A. (2017). Characterization of snack food bars made of nixtamalized corn flour and flour of nike fish for emergency food. *International Journal of Agriculture System*, *5*(1), 33-41.

Labuza, T. P. (1984). *Moisture sorption: Practical aspects of isotherm measurement and use*. American Association of Cereal Chemists (AACC).

López-Malo, A., Palou, E., & Argaiz, A. (1994). *Measurement of water activity of saturated salt solutions at various temperatures*. Universidad de las Américas-Puebla.

Marzec, A., & Lewicki, P. P. (2006). Antiplasticization of cereal-based products by water. Part I. Extruded flat bread. *Journal of Food Engineering*, *73*(1), 1-8. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.12.002

Motoki, M., Torres, J. A., & Karel, M. (1982). Development and stability of intermediate moisture cheese analogs from isolated soybean proteins. *Journal of Food Processing and Preservation*, *6*, 41-53.

Rahman, M. S., & Labuza, T. P. (2007). Water activity and food preservation. In M. S. Rahman (Ed.), *Handbook of Food Preservation* (2nd ed., pp. 447-477). CRC Press.

Robertson, G. L., & Lee, D. S. (2021). Comparison of linear and GAB isotherms for estimating the shelf-life of low moisture foods packaged in plastic films. *Journal of Food Engineering*, *291*. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110317

Rodríguez-Martínez, V., Velázquez, G., Welti-Chanes, J., & Torres, J. A. (2020). Applications of probabilistic engineering in food moisture management to meet product quality, safety and shelf-life requirements. In G. V. Barbosa-Cánovas, A. J. Fontana, S. J. Schmidt, & T. P. Labuza (Eds.), *Water Activity in Foods, Fundamental and Applications* (2nd ed., pp. 501-520). Wiley-Blackwell. https://doi.org/10.1002/9781118765982.ch21

Staudt, P. B., Tessaro, I. C., Marczak, L. D. F., Soares, R. P., & Cardozo, N. S. M. (2013). A new method for predicting sorption isotherms at different temperatures: Extension to the GAB model. *Journal of Food Engineering*, *118*(3), 247-255. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.04.013

Taoukis, P. S., El Meskine, A., & Labuza, T. P. (1988). Moisture transfer and shelf-life of packaged foods. In J. H. Hotchkiss (Ed.), *Food and Packaging Interactions* (pp. 244-261). ACS Publications.

Torres, J. A. (2022). Recommendations for the confidence level to be used when assessing quality and safety risks for consumers. In.

Torres, J. A., Bouzas, J. O., & Karel, M. (1989). Sorbic acid stability during processing and storage of an intermediate moisture cheese analog. *Journal of Food Processing and Preservation*, *13*(6), 409-415.

Torres, J. A., & Wu, X. (2018). *Probabilistic engineering approaches to food safety, quality, and shelf-life: A primer on applications to moisture-controlled, thermally-processed, and chilled/frozen foods* IFT Annual Meeting, Chicago, IL.

Zhang, H., Bhunia, K., Kuang, P., Tang, J., Rasco, B., Mattinson, D. S., & Sablani, S. S. (2015). Effects of oxygen and water vapor transmission rates of polymeric pouches on oxidative changes of microwave-sterilized mashed potato. *Food and Bioprocess Technology*, *9*(2), 341–351. https://doi.org/10.1007/s11947-015-1628-3

Artículo científico

CIENCIA E INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA
DE LA UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO
Vol. 5, Núm. 1 (2023), pp. 29-43.

RESPUESTA AGRONÓMICA EN HÍBRIDOS DE MAÍZ AL UTILIZAR CAOLINITA PARA REDUCIR EL ESTRÉS POR CALOR [a]

AGRONOMIC RESPONSE IN MAIZE HYBRIDS USING KAOLINITE TO REDUCE HEAT STRESS

Quiroz-Mercado, J.[1]*; Antuna-Grijalva, O.[1]; Molina-Ayala, E.[2]; Del Río-Rivas, M.J.[2]; Coyac-Rodríguez, J.L.[1]; y Espinoza-Banda, A.[1].

*[1]Departamento de Fitomejoramiento. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna. Periférico Raúl López Sánchez S/N. Colonia Valle Verde. Torreón, Coahuila. C.P. 27054. (fito.ul@uaaan.edu.mx). Teléfono: (844) 411 0200. Ext. 7675. *Autor para correspondencia: jorge.quirozm@uaaan.edu.mx*

[2]Programa de Licenciatura en Ingeniero Agrónomo. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna. Periférico Raúl López Sánchez S/N. Colonia Valle Verde. Torreón, Coahuila. C.P. 27054. (fito.ul@uaaan.edu.mx). Teléfono: (844) 411 0200. Ext. 7675.

Fecha de envío: 08, agosto, 2023 Fecha de publicación: 16, diciembre, 2023

Resumen:
La respuesta inicial de las plantas al estrés por calor involucra la reducción en la duración de las etapas de desarrollo, así como la disminución en el tamaño de sus órganos, la pérdida de flores fecundadas y, en última instancia, una reducción en el rendimiento. Para contrarrestar los efectos del calor, se han empleado protectores solares basados en caolinita como una alternativa en varios cultivos. Este estudio tuvo como objetivo evaluar las características agronómicas y el rendimiento de grano en cuatro líneas de maíz bajo la influencia de un protector solar en condiciones de altas temperaturas. La investigación se llevó a cabo en la estación experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, ubicada en Torreón, Coahuila, durante la temporada primavera-verano de 2019. Se evaluaron cuatro híbridos de maíz (CRM54, RS-8520, RS-8510, 8576) con dos tratamientos distintos (con y sin caolinita). Se registraron diversas variables, como altura de la planta, días hasta la floración masculina y femenina, número de mazorcas, peso de mil granos, rendimiento de grano y temperatura del dosel. Los resultados mostraron diferencias altamente significativas entre los híbridos de maíz para la altura de la planta y el rendimiento de grano. En cuanto a los tratamientos con caolinita, no se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.01$) en la mayoría de las variables, a excepción de la altura de la planta. Sin embargo, el tratamiento sin caolinita mostró un mayor rendimiento de grano (4.69 t ha^{-1}.) y temperaturas del dosel más bajas (24.4 °C). El híbrido RS-8510 obtuvo el mayor rendimiento con un promedio de 5.4 t ha^{-1}.

Palabras clave: protectante, rendimiento, alta temperatura.

[a]Proyecto: Calidad de semilla de cuatro líneas de maíz (*Zea mays L.*) aplicando caolinita para reducir el efecto de estrés por altas temperaturas en Torreón, Coahuila. UAAAN-UL. Tesis de licenciatura.

Abstract:
of The initial response of plants to heat stress involves a reduction in the duration of their developmental stages, as well as a decrease in the size of their organs, the loss of fertilized flowers, and ultimately, a decrease in yield. To counteract the effects of heat, sunscreens based on kaolinite have been used as an alternative in various crops. This study aimed to evaluate the agronomic characteristics and grain yield of four maize lines under the influence of a sunblock in high-temperature conditions. The research was conducted at the experimental station of the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, located in Torreón, Coahuila, during the spring-summer season of 2019. Four maize hybrids (CRM54, RS-8520, RS-8510, 8576) with two different treatments (with and without kaolinite) were evaluated. Various variables were recorded, such as plant height, days to male and female flowering, number of cobs, thousand-grain weight, grain yield, and canopy temperature. The results showed highly significant differences ($p \leq 0.01$) among maize hybrids in terms of plant height and grain yield. Regarding the treatments with kaolinite, no significant differences were observed in most of the variables, except for plant height. However, the treatment without kaolinite exhibited a higher grain yield (4.69 t ha-1) and lower canopy temperatures (24.4 °C). The RS-8510 hybrid achieved the highest yield with an average of 5.4 t ha-1.

Keywords: *Human management, processes, dairy production, working conditions, labor welfare*.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de maíz (*Zea Mays L.*) es uno de los cereales más importantes por su alto valor nutritivo en el mundo, tanto para la alimentación humana como para la alimentación animal. Al presentar la especie una gran diversidad genética de maíces criollos y mejorados (Matsuoka et al., 2002), puede adaptarse a diferentes condiciones climáticas, como ambientes de clima desértico cálido, donde las temperaturas máximas en el año pueden superar los 30°C. (Baradas, 1994).

La sensibilidad de una planta a altas temperaturas depende principalmente de las características de la especie. La mayor tolerancia que presentan los cultivares ante factores limitantes (estrés biótico y abiótico), se ha puesto en evidencia de manera consistente, incluyendo el efecto de estrés por calor. La primera respuesta de las plantas al impacto del estrés por calor se traduce en una disminución en la duración de todas las etapas de desarrollo, además de causar reducciones en el tamaño de sus órganos y el rendimiento. Así, en plantas de maíz sometidas a temperaturas superiores a 35°C por más de ocho días durante la etapa de floración sufren una reducción de hasta 74% en el rendimiento de grano (Rincón et al., 2006).

En la actualidad, nuevas tecnologías se han ido desarrollando para combatir el efecto de estrés por calor en plantas como es el caso del “caolín”, que es considerado como un protector solar de amplio espectro que además de disminuir los daños de las plagas de insectos, puede actuar como protector de las quemaduras solares y del estrés hídrico (Romero et al., 2006). Su uso está autorizado en España, Italia, Grecia, Argentina, Nueva Zelanda y Austria para reducir el “golpe de sol” y el estrés térmico de los cultivos (de la Roca, 2003; Themas et al., 2004). Recientemente, el uso de protectantes solares a base de caolinita han sido utilizados como alternativa para aminorar los efectos de altas temperaturas en cultivos como café (Steiman et al., 2007), plátano (Ortiz et al., 2013), uva (Glenn et al., 2010), entre otros.

La caolinita tiene un gran uso en su aplicación sobre las hojas y se ha demostrado gran utilidad para el control del estrés térmico, lo cual, ha incidido en una mejora del rendimiento final de algunos cultivos como mandarino, café y melón chino (Steiman et al., 2007; Jiménez, 2003; Chabbal et al., 2014). Según algunos autores, esta aplicación permite el intercambio gaseoso, tanto del vapor de agua como del dióxido de carbono y también permite que la luz solar penetre por la capa protectora, que refleja el calor del sol manteniendo al cultivo más frío y protegiéndolo del estrés. A pesar de lo anterior, recientemente se hizo un estudio donde se evaluó el uso de la caolinita en el cultivo de maíz, observando diferencias no significativas en el rendimiento final (Chicaiza, 2018; González, 2020).

Por otra parte, investigaciones recientes sobre escenarios de cambio climático han reportado que en la mayor parte de México han ocurrido aumentos de temperatura que varían de región en región. Proyecciones realizadas por medio de modelos de simulación indican que los mayores aumentos de temperatura se proyectan hacia la parte norte de México (INECC, 2018). En este contexto, incrementos de temperaturas será un factor que afectará el desarrollo y crecimiento de los cultivos.

El empleo de protectores solares en cultivos representa una viable opción para contrarrestar los efectos adversos de las elevadas temperaturas en los sistemas de producción agrícola. No obstante, existe una escasez de investigaciones que aborden la eficacia de la caolinita en el maíz con el propósito de mitigar los impactos negativos de las altas temperaturas en el rendimiento de grano y sus características

agronómicas. Además, son aún más escasas las evaluaciones realizadas en contextos típicos en los que las elevadas temperaturas ejercen una influencia significativa en la región norte del país. Por consiguiente, el objetivo central de este estudio fue evaluar las características agronómicas y el rendimiento de grano de cuatro híbridos de maíz (CRM54, RS-8520, RS-8510, 8576) al utilizar la caolinita como agente de protección solar para contrarrestar el estrés ocasionado por las altas temperaturas en la zona de Torreón, Coahuila.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área de estudio

El trabajo experimental se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro ubicada en el Campus Unidad Laguna, el cual se localiza en Torreón, Coahuila, entre las coordenadas 25°32´40´´ latitud norte y 103°26´33´´ longitud oeste a una altura de 1.120 msnm (SECTUR, 2018). El tipo de clima que predomina es cálido-seco, con una temperatura promedio anual d 24° C (aunque en verano puede superar los 40° C), con lluvias que se registran en los meses de junio, julio, agosto (Castro, 2012), con precipitación anual promedio de 220mm.

Tratamientos

Se evaluaron los híbridos de maíz CRM54, RS-8520, RS-8510 y 8576 y dos tratamientos de caolinita (con y sin caolinita) durante el ciclo agrícola de primavera-verano de 2019. Los materiales de maíz fueron proporcionados por empresas semilleras. La descripción de cada material sobre su ciclo vegetativo, días a floración, altura de planta y altura de mazorca se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Ciclo vegetativo, días a floración, altura de planta y altura de mazorca de cuatro híbridos de maíz.

Table 1. Vegetative cycle, days to flowering, plant height, and ear height of four maize hybrids.

Híbrido	Ciclo Vegetativo	Días a Floración (d)	Altura de planta ---------- (cm)	Altura de mazorca ----------
CRM-54	Intermedio	62-70	250 - 275	130
RS-8520	Intermedio	65	210 - 240	125
RS-8510	Intermedio	70-72	215	112
8576	Intermedio	63-65	280 - 310	150

Para el caso de la caolinita, se aplicó un protectante solar llamado “Sorround”, utilizando dos dosis de aplicación: 1.- Sin caolinita (como testigo) y 2.- Con caolinita. La aplicación del producto se realizó con una bomba de motor de cuatro tiempos, el producto se mezcló con agua, y se aplicó en todo el follaje, cuidando que la planta quede completamente cubierta. Las fechas de aplicación, etapa fenológica y dosis del producto se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Fecha y dosis de aplicación del producto con caolinita llamado “Sorround”, y etapas fenológicas del maíz.

Table 2. Date and dosage of application of the product with kaolinite called "Sorround," and maize phenological stages.

Fechas de aplicación	Dosis /aplicación (kg ha^{-1})	Etapa fenológica
13/07/2019	40	V8
20/07/2019	40	V9
27/07/2019	40	V11
03/07/2019	40	VT

Manejo del experimento

La preparación del terreno consistió en un barbecho, una rastra, medición y trazado de los bloques. Utilizando una densidad de siembra de 66,500 plantas por hectarea. La siembra se realizó el 24 de mayo de 2019, de manera directa, depositando dos semillas en el suelo cada 15 cm, a una profundidad de 5 cm. El espacio entre surcos fue de 75 cm con una longitud de 5 m. A los 15 días después de la siembra se depuró una planta cada 15 cm, las plantas que mostraron menor vigor son las que se eliminaron.

Se estableció un sistema de riego por goteo con una cintilla por surco, con espacios en los orificios de 20 cm y con una capacidad de descarga de .66 L/h. Los riegos se aplicaron en las etapas críticas y donde el cultivo demandaba agua. Para la fertilización se usó una dosis de 120N-80P-00K, utilizando un inyector de tipo Venturi para su aplicación durante los riegos. Las unidades de fertilizante se realizaron en 3 aplicaciones, en la primera aplicación fueron 32 kg de urea, 26 de urea ácida y 42 kg de ácido fosfórico (05-junio-2019); en la segunda 25 de urea,

22 kg de urea ácida y 38 kg de ácido fosfórico (05-julio-2019). En la tercera se aplicaron 15 kg de urea (18-julio-2019).

Para el control de maleza se aplicó un agroquímico el 5 de junio de 2019, con el ingrediente activo atrazina-s metoclor, utilizando las dosis recomendadas por el fabricante. El 22 de junio se realizó una escarda, con la finalidad de aporcar y seguir con el control de maleza. A los 30 días, después del aporque se desmalezó el terreno de manera manual, utilizando azadón. Durante el experimento se presentó el gusano cogollero (*Spodoptera frujiperda*), el cual se combatió con dos fumigaciones, la primera fue el 12 de junio, aplicando clorantraniliprol, ingrediente activo de Dupont Coragen, el cual se recomienda aplicar 75ml – 100 ml/ha. La segunda el 23 de junio aplicando el mismo producto y la misma cantidad.

Cosecha

Se realizó una vez que el cultivo completó su ciclo vegetativo, se procedió a la recolección de mazorcas de forma manual de cada lote de investigación. Se recolectó de cada bloque 3 metros de largo del surco central. Esta actividad se llevó a cabo el 3 de octubre de 2019.

Variables climatológicas

Se registraron las variables climáticas: temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación durante la temporada 2019, las cuales fueron proporcionadas por el Centro Meteorológico de Torreón, Organismo de Cuenca Cuencas Centrales del Norte, Dirección Técnica.

Variables agronómicas y rendimiento de grano

Previo al registro de datos se etiqueto cinco plantas al azar con competencia completa de un surco central de cada parcela con la finalidad de registrar variables de planta y de mazorca (CIMMYT, 1995). Las variables registradas fueron: altura de planta, días a floración masculina, días a floración femenina, número de mazorcas, peso de mil granos y rendimiento de grano. Además, se midió la temperatura del dosel con un termómetro de cultivo, tomándolo desde la altura del pecho con dirección a la altura media del dosel de la planta de cada parcela con tratamiento y sin tratamiento de caolinita, con el fin de saber si variaban las

temperaturas. Los registros de temperatura del dosel se tomaron a partir de la etapa fenológica de antesis cuando inició la aplicación del producto llamado "Sorround".

Diseño experimental y análisis estadísticos

Se realizó mediante un diseño de bloques al azar con tres repeticiones. Para cada variable registrada se realizaron los análisis de varianza con el programa estadístico SAS versión 9.0 (2004). Cuando los valores de F de los análisis de varianza resultaron significativos, se procedió a realizar la comparación de medias mediante la prueba de Tukey al 0.05 de significancia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones Climatológicas

Durante el desarrollo del experimento entre mayo y octubre de 2019, se registró una temperatura promedio de 28.6°C y una precipitación total de 136.3 mm. En la Figura 1 se aprecia en los meses de mayo, junio y agosto temperaturas máximas por arriba de los 40°C, las cuales, por momentos fueron constantes hasta por un periodo de 5 días. En el mes de mayo se alcanzó el valor máximo de temperatura con 43.3°C, mientras que, en el mes de octubre se alcanzó el valor mínimo de temperatura, el cual fue de 8°C. Al finalizar el mes de octubre, se registró un descenso en los valores de temperaturas máximas y mínimas. Las condiciones climatológicas presentes durante el desarrollo del experimento, y especialmente los valores de temperaturas máximas, indican la posibilidad de que las plantas hayan experimentado cierto grado de estrés por altas temperaturas, debido a que por momentos las temperaturas sobrepasaron el umbral que se tiene registrado para el cultivo de maíz (Tollenaar et al., 1979). Sin embargo, los periodos breves de estrés por altas temperaturas no coincidieron con el periodo crítico del cultivo (etapa de floración), lo cual, probablemente no generó un efecto negativo importante en el rendimiento final de grano (Edreira y Otegui, 2012).

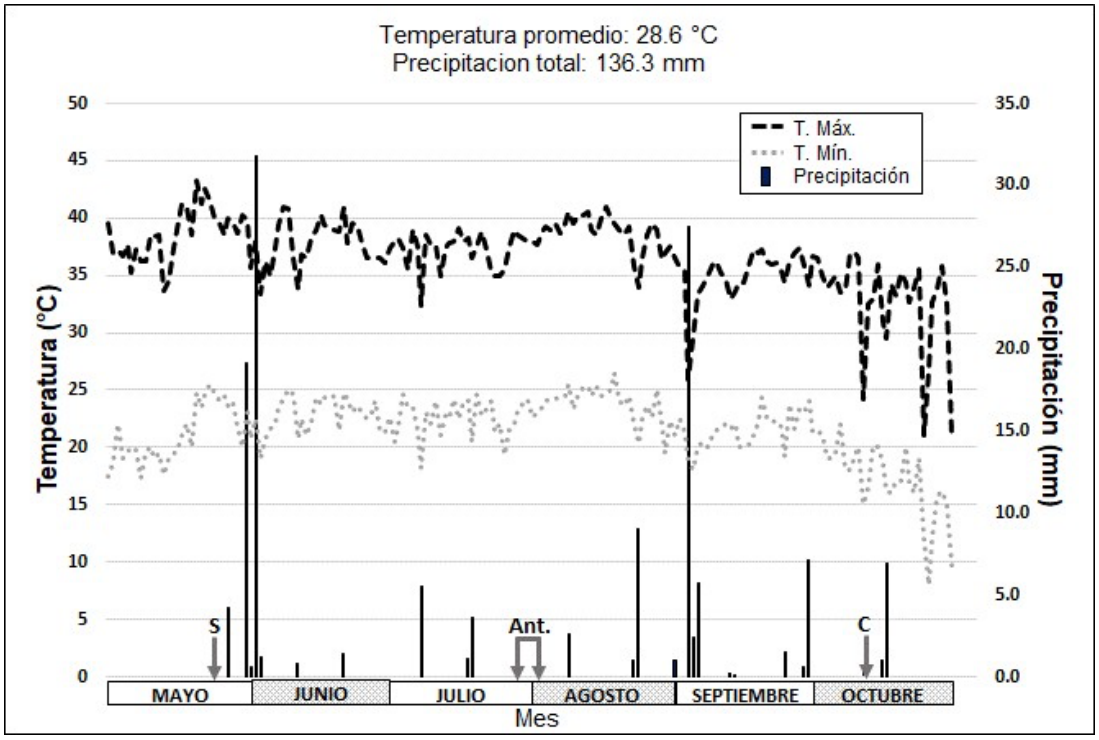

Figura 1. Distribución de la precipitación y temperaturas durante el desarrollo del experimento en Torreón, Coahuila, 2019. S = siembra; Ant. = Antesis; C = cosecha.

Figure 1. Precipitation and temperature distribution during the experiment's development in Torreón, Coahuila, 2019. S = planting; Ant. = Anthesis; C = harvest.

Análisis de varianza

Los resultados de los análisis de varianza que se presentan en el Cuadro 3, muestran que para el factor tratamientos de caolinita no hubo diferencias significativas ($p>0.05$) en todas las variables de estudio, excepto para la variable altura de planta ($p<0.05$). Estudios hechos en el cultivo de plátano donde se utilizaron diferentes dosis de caolinita se reportó que la altura de planta fue mayor cuando se aplicó caolinita en comparación al tratamiento sin caolinita (Ortiz et al., 2013). De igual manera, Ortiz et al. (2013) reporta en el mismo cultivo de plátano disminuciones en los días de siembra a floración usando el producto "Surround WP"; y aunque en este estudio con maíz no hubo diferencias significativas en días a floración masculina y días a floración femenina, el tratamiento con caolinita presentó menores valores en estas dos variables comparado con el tratamiento sin caolinita. Sin embargo, los resultados de nuestro trabajo difieren con Chicaiza (2018), donde no se presentaron diferencias

significativas en la altura de planta al aplicar varias dosis de caolín en el cultivo de maíz. Para las variables peso de mil granos y rendimiento de grano se presentan resultados en acuerdo con los datos reportados de Chicaiza, (2018) donde no hubo diferencias significativas en peso de cien granos y rendimiento de grano. En la fuente cultivar, se detectaron diferencias significativas al 0.01 para la variable altura de planta y rendimiento de grano, mientras que, para la variable número de mazorcas se encontraron diferencias al 0.001. En la interacción tratamiento de caolinita x cultivar no se presentaron diferencias estadísticas (p>0.05) para todas las variables de estudio.

Cuadro 3. Valores de F y su significancia estadística de los análisis de varianza de variables de rendimiento y crecimiento de maíz en el ciclo primavera-verano 2019.

Table 3. F-values and their statistical significance from the analysis of variance for maize growth and yield variables in the spring-summer 2019 season.

F.V.	G.L.	AP	DFM	DFF	P1000G	NM	TD	RG
Trat (T)	1	0.04*	0.49ns	0.37ns	0.81ns	0.37ns	2.87ns	0.33ns
Cult (C)	3	0.00**	0.55ns	0.44ns	0.12ns	0.00***	0.28ns	0.00**
T x C	3	0.78ns	0.38ns	0.46ns	0.84ns	0.51ns	0.44ns	0.87ns
Error	12	0.01	128.72	36.18	607.03	6.31	0.64	1.41
Med		2.31	69.71	70.25	126.83	17.63	24.7	4.29
C.V.		4.33	16.28	8.56	19.43	14.25	3.25	27.66

Altura de planta (AP), días de floración masculina (DFM), días de floración femenina (DFF), peso de 1000 granos (P1000G), número de mazorcas (NM), temperatura del dosel (TD), y rendimiento de grano (RG). ns = No significativo.; *, **, *** = Significativo al 0.05, 0.01 y 0.001 respectivamente. Trat = Tratamiento de caolinita; Cult = Cultivar.; C.V. = Coeficiente de variación.

Para la variable temperatura del dosel no hubo diferencia significativa (p>0.05), como se observa en el Cuadro 3. La temperatura máxima que se presentó para el tratamiento sin caolinita fue de 30.7°C, y una mínima de 22.8°C. Para el tratamiento con caolinita la máxima fue de 30.6°C, y obteniendo una mínima de 22.3°C. En comparación con otros experimentos basados en aplicación de caolinita para la reducción de temperaturas del dosel, como es el caso del cultivo de lechuga, tampoco se han obtenido resultados favorables, pero, difiere en los resultados obtenidos por Ortiz et al. (2013) en el cultivo de plátano, donde la arcilla de caolinita

disminuyó la temperatura del haz de las hojas 1.7 °C, también Glenn et al. (2002) en su investigación en el cultivo de manzana donde la temperatura redujo 4.4°C en comparación con la temperatura de las plantas donde no se aplicó caolinita.

Comparación de medias entre tratamientos de caolinita

En la comparación de medias que se presenta en el Cuadro 4, se observa que, la altura de planta en el tratamiento con caolinita fue significativamente mayor (2.33 m) en comparación al tratamiento sin caolinita (2.30 m). Ortiz et al. (2013) reportaron que, al usar la caolinita la altura de planta fue mayor en comparación al testigo, esto debido a que estimuló el crecimiento y el desarrollo de los meritemos en plátano. En este sentido, las diferencias entre tratamientos para la variable altura de planta en nuestro estudio, pudo deberse a que el tratamiento con caolinita aplicado en etapa vegetativa (previo a la antesis), aminoró los efectos de alta temperatura en el periodo de elongación del tallo, donde la temperatura promedio en pre- antesis fue mayor (31.1°C) en comparación al promedio de la temperatura en etapa reproductiva (28.8°C).

Cuadro 4. Comportamiento promedio de los tratamientos con caolinita, en el ciclo primavera-verano 2019.

Table 4. Average performance of the treatments with kaolinite in the spring-summer 2019 season.

TRAT	AP	DFM	DFF	P1000G	NM	TD	RG
	(m)	--------- (d) --------		(g)		(°C)	(t ha^{-1})
S/T	2.30b[§]	72a	72a	128.41a	19a	24.35[a]	4.69a
C/T	2.33a	67a	69a	125.26a	16a	25.05[a]	3.89a
DSM	0.02	23.25	9.90	48.30	10.37	3.64	2.71

Altura de planta (AP), días de floración masculina (DFM), días de floración femenina (DFF), peso de 1000 granos (P1000G), número de mazorcas (NM), temperatura del dosel (TD), y rendimiento de grano (RG),[§] Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren significativamente entre sí (DMS 0.05). TRAT = Tratamientos de caolinita; S/T = Sin caolinita; C/T = Con caolinita.

Para las variables días a floración masculina y días a floración femenina, a pesar de que no hubo diferencias significativas (P>0.05); en el tratamiento con caolinita se registró una precocidad en estas variables comparado con el tratamiento sin caolinita (Cuadro 4). Estos resultados concuerdan con los reportados en plátano donde reportan menor número de días de siembra a floración (Ortiz et al., 2013). En nuestro estudio, el incremento en los valores de temperatura en el dosel puede explicar la aceleración del ciclo del cultivo como respuesta fisiológica de las plantas a altas temperaturas. Sin embargo, Steiman et al. (2007) reportan que las temperaturas de la superficie de las hojas en café fueron significativamente más bajas (-3.4°C) en comparación con el tratamiento de caolinita, lo cual difiere de este estudio al considerar la variable temperatura del dosel.

En los promedios de peso de mil granos y rendimiento de grano no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos con y sin caolinita, no obstante, al aplicar el producto de caolinita el rendimiento de grano fue menor en comparación con el tratamiento donde no se aplicó caolinita, con la aplicación de caolinita el rendimiento disminuyó aproximadamente 800 kg en promedio. En estudios recientes en maíz donde se aplicó la caolinita antes de la antesis, reportaron que no hubo diferencias significativas en el rendimiento al aplicar la caolinita (Chicaiza, 2018; González, 2020), sin embargo, en ambos estudios reportan que hubo disminución en el rendimiento. El rendimiento de grano de maíz probablemente disminuyó debido a que la caolinita se aplicó en antesis, por lo cual la aplicación creaba una película sobre la superficie vegetal, ésta tenía algún tipo de reflectancia y como consecuencia insidio en la disminución de captura de radiación solar, afectando la tasa de fotosíntesis de la hoja (González, 2020). En otro tipo de cultivo como lechuga donde aplicaron dosis diferentes de caolinita de 15, 25, 35 kg ha^{-1} no se encontraron diferencias estadísticas en el rendimiento (Gómez y Heredia, 2017). Sin embargo, otra investigación usando caolinita en cultivo de tomate, esta se aplicó en la época de desarrollo de los frutos y a los botones florales de las plantas, y fue ahí donde los rendimientos incrementaron en comparación donde no se aplicó caolinita (Gutiérrez, 2014).

Si bien, varios estudios han reportado resultados positivos en cultivos como café (Steiman et al., 2007), plátano (Ortiz et al., 2013), y mandarino (Chabbal et al., 2014); en este estudio donde se evaluó la respuesta del maíz al uso de la caolinita para reducir el calor, no se observaron diferencias significativas en todas las variables de estudio, excepto en la altura de planta. Y más aún, el tratamiento con caolinita redujo los valores de las variables peso de mil granos, número de mazorcas y rendimiento de grano. Sin embargo, la comparación de estudios que utilizan diferentes especies, no nos permiten comprender estas respuestas del maíz a la caolinita, especialmente si se usan diferentes dosis de aplicación de caolinita en distintas etapas fenológicas de cada especie, así como diferencias en los métodos de mediciones utilizados. Además, otras variables que no se miden en este estudio como la trasmisión de la radiación fotosintéticamente activa o la tasa de fotosíntesis en las hojas impiden comprender las respuestas a la caolinita.

Comparación de medias entre híbridos de maíz

En la comparación entre cultivares se muestra que para altura de planta todos los híbridos se comportaron diferentes (Cuadro 5). El híbrido con mayor altura de planta fue el 8576 con 2.43 m, en segundo lugar, el híbrido RS8510 con 2.38, seguido por el RS8520 con 2.24 m., y el CRM54 con 2.19 m.

Para los días a floración masculina y femenina, el cultivar RS8510 fue el más precoz, el cual, alcanzó la floración masculina en 63 días y la floración femenina en 68 días. El cultivar CRM54 fue el más tardío con 72 y 69 días para la floración masculina y femenina, respectivamente. Posteriormente, le siguió el híbrido RS8520, que mostró una duración de la floración masculina y la floración femenina de 71 y 73 días, respectivamente. Finalmente, el híbrido CRM54 alcanzó la floración masculina a los 71 días y la floración femenina a los 68 días.

En la variable peso de mil granos, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos con caolinita, sin embargo, el híbrido RS8520 logró el mayor promedio, mientras que el CRM54 fue el de menor promedio para esta variable. En número de mazorcas los híbridos RS8520, RS8510 y CRM54, se comportaron de manera similar con 17, 20 y 20 mazorcas respectivamente, mientras que el 8576 fue el que menos mazorcas presentó, difiriendo con el resto de los híbridos (Cuadro 5).

Cuadro 5. Comportamiento promedio de los cuatro híbridos de maíz

Table 5. Average performance of the four maize hybrids.

Híbrido	AP	DFM	DFF	P1000G	NM	TD	RG
	(m)	------ (d) -----		(g)		(°C)	(t ha^{-1})
CRM54	2.19c[§]	71a	69a	112.15a	17a	24.78a	3.34a
RS8520	2.24bc	72a	74a	144.85a	20a	24.68a	5.26a
RS8510	2.38ba	64a	69a	134.32a	20a	24.93a	5.40a
8576	2.43[a]	72a	70a	116.02a	13b	24.41a	2.15a
DSM_{Tukey}	0.17	19.45	10.31	42.23	4.30	1.37	2.03

Altura de planta (AP), días de floración masculina (DFM), días de floración femenina (DFF), peso de 1000 granos (P1000G), número de mazorcas (NM), temperatura del dosel (TD), y rendimiento de grano (RG), en el ciclo primavera-verano 2019.[§] Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren significativamente entre sí (DMS 0.05).

En el rendimiento de grano no se encontraron diferencias estadísticas, sin embargo, si varió el rendimiento entre los cuatro materiales de maíz. El híbrido RS8510 fue él que más rindió (5.400 t ha^{-1}), seguido por los híbridos RS8520 (5.260 t ha^{-1}), CRM54 (3,34 t ha^{-1}), y el 8576 (2.150 t ha^{-1}). Los rendimientos de maíz registrados en este experimento están acordes con los rendimientos promedios registrados en la región lagunera, donde se reporta que el rendimiento promedio de maíz para grano es de 3.3 t ha^{-1} en riego (Wong et al., 2007).

CONCLUSIONES

El tratamiento con caolinita no modificó el rendimiento de grano ni las características agronómicas, a excepción de altura planta. Es probable que la falta de diferencias significativas en la mayoría de las variables registradas con el uso de caolinita este determinado por la dosis y la etapa fenológica en la cual se aplicó el protectante solar. Si bien, la discrepancia entre estudios anteriores puede estar relacionada con diferencias entre especie, dosis y métodos de medición, estos resultados pueden ser la base para realizar ensayos interdisciplinarios con el uso de protectantes en el cultivo de maíz.

LITERATURA CITADA

Baradas, M.W. (1994). Crop requirements of tropical crops. In: handbook of agricultural meteorology. J. F. Griffiths Editor. Oxford Univ. Press. New York. pp. 189-202.

Castro, A.E. (2012). Factibilidad de la implementación de una planta termosolar para la generación de energía eléctrica en Torreón, Coahuila, México. XVI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. pp 1247-1259.

Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). (1995). Manejo de los ensayos e informe de los datos para el programa de ensayos internacionales de maíz del CIMMYT. Quinta reimpresión. México. pp 20.

Chicaiza, L.A. (2018). Evaluación de varias dosis de caolín y momentos de aplicación en el cultivo de maíz (*Zea Mays L.*) y su impacto en la reproductividad. Tesis de licenciatura. Universidad De Guayaquil. Honduras. pp 71.

Chabbal, M. D., Piccoli, A. B., Martínez, G. C., Avanza, M. M., Mazza, S. M., & Rodríguez, V. A. (2014). Aplicaciones de caolín para el control del golpe de sol en mandarino 'OKITSU'. Cultivos Tropicales, 35(1), 50-56.

De la Roca, M. (2003). Sorround crop proctectant: La capa protectora natural para los cultivos como el olivar. Phytoma 148, 82-85.

Edreira, J.I.R., and Otegui, M. E. (2012). Heat stress in temperate and tropical maize hybrids: Differences in crop growth, biomass partitioning and reserves use. Field Crops Research, 130, 87-98.

Glenn, D.M. (2010). Impact of kaolin particle film and water deficit on wine grape water use efficiency and plant wáter relations. Hortscience. Volumen (45). pp 1178-1187.

Glenn, D.M., Prado, E., Erez, A., Mcferson J., and Puterka, G.J. (2002). A reflective, processedkaolin particle film affects fruit temperature, radiation reflection, and solar injury in apple. Journal of the American Society for Horticultural Science, 127:188-193.

Gómez, P.F.; Hereida, V.L. A. (2017). Efecto de dosis y frecuencia de aplicación de arcilla de caolinita en la producción de lechuga a campo abierto. Tesis de licenciatura. Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano, Honduras. pp 20.

González, C.J. (2020). El silicato de aluminio reduce el estrés térmico en el rendimiento de grano de maíz. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón, Coahuila. pp 29.

Gutiérrez, J.C. (2014). Efectos de dos protectantes solares sobre el estrés térmico en el cultivo de tomate: la Fragua, Zacapa. Tesis de licenciatura. Universidad Rafael Landívar. Zacapa, Guatemala. pp 66.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2018). Investigación en cambio climático, sustentabilidad y crecimiento verde. Libro blanco 2014-2018. pp. 152.

Jiménez, J. (2003). Efecto del surround (kaolinita) en los rendimientos y en el daño de la fruta por quema del sol en el melón chino C.V. Century. Informe técnico, programa de hortalizas, 2004. pp 82-84.

Matsuoka, Y., Vigouroux, Y., Goodman, M.M., Sánchez J.G., Buckler, E. and Doebley, J. (2002). A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. Proceedings of the National Academy of Sciences, U. S. A. 99 (9): 6080-6084.

Ortiz, R. A.; Bermúdez, A., Valverde, J., Volker, K., Barrows, P. (2013). Aplicación de surround wp® y Greensol 70 sobre el crecimiento, desarrollo y producción de banano (Musa ssp.) XX Reunião Internacional da Associação para a Cooperação em Pesquisa e Desenvolvimento Integral das Musáceas (Bananas e Plátanos). Fortaleza. pp 169.

Rincón, J.A., Castro, S., López, J.A., Huerta, A.J., Trejo, C., Briones, F. (2006). Temperatura alta y estrés hídrico durante la floración en poblaciones de maíz tropical. *Phyton* (Buenos Aires) 75:31-40.

Romero, A., Martí, E., Tous, J. (2006). Aplicación del caolín como tratamiento contra la mosca en el cultivo ecológico del olivo en distintas zonas de Cataluña. Generalitat de Cataluña. Consejería de Agricultura y Ganadería.

Secretaría de Turismo (SECTUR). (2018). Agenda de competitividad de los destinos turísticos de México. Universidad Autónoma de Coahuila. pp 715.

Steiman, S.R., Bittenbender, H.C., Idol, T.W. (2007). Analysis of kaolin particle film use and its application on coffee. *HortScience*. 42(7): 1605-1608.

Themas A.L., Muller, M.E., Dodson, B.R., Ellersieck, M.R., Kaps. M., (2004). A kaolin based particle film supresses certain insect and fungal pests while reducing heat stress in apples. *Journal of the American Pomological Society* 58(1), 42-51.

Tollenaar, M., Daynard, T.B., Hunter, R.B. (1979) Effect of temperature on rate of leaf appearance and flowering date in maize. *Crop Sci.* 19: 363-366.

Wong-Romero, R., Gutiérrez-del Río, E., Palomo-Gil, A., Rodríguez-Herrera, S. A., Córdova-Orellana, H., Espinoza-Banda, A., Lozano- García, J.J. (2007). Aptitud combinatoria de componentes del rendimiento en líneas de maíz para grano en la Comarca Lagunera, México. *Rev. Fitotec. Mex*. 30: 181-189.

CIENCIA E INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA
DE LA UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO
Vol. 5, Núm. 1 (2023), pp. 44-64.

PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA PLANT FACTORY CON ARQUITECTURA DE CÁMARA PRISMÁTICA HEXAGONAL, PARA CRECIMIENTO DE CULTIVOS DE HORTALIZAS (VARIEDAD ROMANA PARRIS ISLAND) EN FORMATO DE MURO VERTICAL[a]

DESIGN OF A PLANT FACTORY WITH A HEXAGONAL PRISMATIC CHAMBER ARCHITECTURE, FOR GROWING VEGETABLE CROPS (ROMAN VARIETY PARRIS ISLAND) IN A VERTICAL WALL FORMAT

Castellanos-Serrano, L.T.*; Gómez-Águila, M.V.; Chávez-Mota, R.; Salinas-Paniagua, F.

Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México Texcoco Km. 38.5, Chapingo, Texcoco, Edo. De Méx. *Autor de Correspondencia: *procesoslcce@hotmail.com*

Fecha de envío: 14, octubre, 2022 Fecha de publicación: 16, diciembre, 2023

Resumen:
Las *Plant Factory* o por sus siglas PFAL, son una industria que busca la creación de microclimas controlados para el crecimiento acelerado de los cultivos con sistemas de control automáticos para la gestión oportuna de las variables dependientes e independientes del sistema, existen diferentes formatos de diseño como son los modulos ortédricos, muros verticales, columna vertical, entre otros. El diseño que se expone corresponde a un PFAL con arquitectura de cámara prismática hexagonal, como propuesta para el crecimiento de variedades de lechuga *romana parris island* (no se delimita a esta especie únicamente). Enseguida se expone la metodología de diseño, misma que se emplea para formular los pasos técnicos para abordar el objeto de estudio y el ordenamiento de las variables dependientes e independientes del sistema. En los resultados se presentan la propuesta técnica con ayuda de sistemas CAD y los diagramas de proceso para la explicación del sistema en su conjunto. En las conclusiones se reflexiona acerca de las posibilidades arquitectónicas de los PFAL y la viabilidad de la propuesta de agrónica aplicada en la agricultura Indoor.

Palabras clave: PFAL, Agricultura vertical, microclima, Indoor, hexagonal.
.

[a] Proyecto de investigación universitario

Abstract:
Plant Factories, also known as PFAL (Plant Factory with Artificial Lighting), are an industry that aims to create controlled microclimates for the accelerated growth of crops using automatic control systems for timely management of the dependent and independent variables of the system. There are different design formats such as orthohedral modules, vertical walls, vertical columns, etc. This paper presents the design proposal for a PFAL with a hexagonal prismatic chamber architecture as a proposal for growing varieties of romaine lettuce parris island (not limited to this species only). The applied design methodology is presented, which is used to formulate technical steps to address the object of study and order the dependent and independent variables of the system. Subsequently, the technical proposal is presented using CAD systems and process diagrams to explain the system as a whole in the results. Finally, the conclusions reflect on the architectural possibilities of PFALs and the feasibility of the proposal of agronomics applied to indoor agriculture.
Keywords: PFAL, Vertical agriculture, microclimate, Indoor, hexagonal

INTRODUCCIÓN

El desarrollo tecnológico exponencial que se ha vivido en los últimos 100 años, ha sido un parteaguas para cambiar los esquemas tradicionales de trabajo, el acceso a las TIC's (Tecnologías de la Información y la Comunicación) son cada vez más flexibles, con la introducción de la comunicación 5G se promete un crecimiento exponencial de las telecomunicaciones, la cual promete un aumento de las capacidades de los dispositivos móviles desde el enfoque de comunicación M2M (machine to machine), con prestaciones de inteligencia artificial que permitirán expandir las capacidades de las comunicaciones para el fortalecimiento de las casas, empresas e industrias inteligentes (Jaramillo, 2017).

La agricultura y el escenario contemporáneo de evolución tecnológica , exigen nuevos métodos y herramientas que acuñen a la agricultura conocida como 4.0, aun así las tecnológicas que engloba esta revolución industrial agrícola, es muy acotada. Hoy se habla de una agricultura 5.0 (Melgar, 2018), que engloba aspectos de la inteligencia artificial y la robótica, esquemas tecnológicos que son parte de los sistemas de producción alimentarios modernos, conduciéndolos, así, al rumbo a una agricultura digital o dentro del marco del crecimiento tecnológico, se puede también nombrar agricultura inteligente.

El agricultor moderno es un sujeto que, a diferencia de otras décadas, cuenta con el acceso a la tecnología. tan solo en la temática de uso de Smartphone se estima: Para 2020, 91.8% de los usuarios de teléfono celular cuenta con un equipo inteligente (Smartphone); 78.3% de la población urbana es usuaria de internet. En la zona rural la población usuaria se ubica en 50.4% (Gobierno de México, 2021).

Lo que indica que las TIC's cada día van abarcando más terreno dentro de las vidas de las personas, y se pueden enfocar para las actividades del campo con mayor flexibilidad a diferencia de otros años.

Ahora bien, rumbo a un 2050 (no lejano), el panorama de crecimiento poblacional no pinta nada bien, dado que se estima una población de casi 9,000 millones de personas a nivel mundial, los planes, estrategias y protocolos por los organismos mundiales como la FAO, optan que uno de los ejes claves para diseñar soluciones es la agricultura de precisión, creando tecnologías que permitan en todas las áreas de la agricultura robotizar o automatizar los procesos productivos, que por medio de los sistemas inteligentes se solventen las tareas para alimentar una población de esa magnitud (Contreras, 2021:90). Mientras tanto en el foro del día mundial de la alimentación 2022 México, la FAO trazó la agenda para afrontar la crisis alimentaria y el plan de cero hambres, donde reporta que para 2022 casi el 8% de la población mundial padece esta situación y es necesario emprender programas para amortizar estas cifras con una meta a corto plazo con visión hacia el 2030 (FAO, 2023).

Un área que ha ganado terreno en los últimos años para las industrias del cultivo de hortalizas, son las *Plant Factory with Artificial Lighting* (PFAL), estas máquinas son microambientes controlados que permiten ajustar las variables dependientes e independientes del sistema para operarlas en su punto óptimo, el desarrollo de estos dispositivos data de los años 1980. En diferentes tipos de experimentos realizados por Estados Unidos y China arrancaron, a partir del año 2000, los estudios investigativos de crecimiento acelerado de cultivos que empiezan a tener mejoras en los resultados, motivando así a otros países de todo el globo a sumarse a las propuestas investigativas. En los años 2010 a la fecha esta técnica de crecimiento de cultivos en ambientes controlados empieza alcanzar su cúspide y la industrialización exitosa (Kozaí, 2016).

La revisión del estado de arte que lleva a cabo Contreras Avilés, destaca el impacto actual que los PFAL tienen en la industria mundial, de manera que los países líderes que llevan estas tecnologías a la vanguardia son Japón, Corea, Taiwán, China, Estados Unidos y Holanda, donde la producción y ganancias destacan números altamente competitivos; tan solo Japón reporta una producción de 10,000-23,000 cabezas de lechugas por día y la ganancia neta promedio de hortalizas por los procesos de las Plant Factory llegan hasta los 500 millones de dólares, en superficies que alcanzan las 6 hectáreas de producción en ambientes adaptados para estas tecnologías (Contreras, 2020).

De este modo, la técnica de las Plant Factory pertenecen a la corriente de la agricultura Indoor, que busca desarrollar técnicas para cultivar en espacios dentro de casa, empresa, organizaciones, industrias, etcétera. Su naturaleza permite el desarrollo de diferentes categorías de PFAL, que van desde los formato miniPFAL, de escala de producción menor orientado preferentemente a casas, hasta los macroPFAL los cuales van orientados a la industria y a la alta productividad (Kozaí, 2016) lo que permite atacar la problemática de los procesos de producción nacionales, aumentando las posibilidades de exportación, exponenciando los canales de comercialización y así combatir las necesidades del crecimiento y demanda poblacional, como llave para afrontar el desabasto alimenticio.

El escalamiento y la introducción de las tecnologías PFAL juegan un rol sumamente importante para el agricultor posmoderno, fungiendo como agente clave para el tema de la soberanía alimentaria y el ahorro de recurso hídrico (Ding et.al., 2014).

Estos dispositivos tienen la cualidad de ser microambientes controlados, con sistemas de alta automatización que involucran multisistemas como son: los procesos de instrumentación; control; etapas de potencias; interconectividad IoT; gestión de información de Data Warehouse; programación multiparadigma, etcétera. Todos ellos pertenecientes a las áreas de la agricultura 4.0 y 5.0. Contextualizado en el marco de estudio de la agrónica, es su columna vertebral.

Las propuestas de PFAL existen en diferentes versiones, desde sistemas de muros verticales, acuapónicos, hidropónicos, aeropónicos, columnas verticales, entre un mundo de propuestas que se amplían día con día, lo que conllevan a la versatilidad adaptativa que cumple tres características importantes:

1. Sistemas recursivos de ahorro de recurso hídrico enriquecidos con soluciones nutritivas
2. Uso eficiente de iluminación artificial para maximización de los tiempos de exposición lumínica de las plantas para aceleración fotosintética
3. Maximización de los espacios de siembra a través de la verticalidad (Kozai, 2019)

El objetivo del presente documento es exponer la propuesta de diseño de PFAL que permita por medio de la arquitectura prismática hexagonal, detonar la mejoras en los ecosistemas artificiales de crecimiento, desde un punto de vista diferente al de otras propuestas implementadas en la industria e investigación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo expone una metodología de diseño aplicado con enfoque de diseño agrónico.

El enfoque metodológico empleado es del tipo experimental, la recolección de datos se ha realizado a través de instrumentos de archivos de memorias técnicas, donde se han recopilado las propuestas de diseño, estos instrumentos divididos en tres secciones:

1. Mecánico: Documentación de diseño, planos de diseño (2D), planos de diseño industrial (3D), planos de ensamblaje (explosionados 3D) y archivo de acervo digital (piezas, ensamblajes y planos), empleo de método de diseño ascendente (SolidWorks, 2022)
2. Electrónico: Especificaciones de diseño, esquemas electrónicos (bajo normas americanas), simulación en laboratorios virtuales, montaje y mediciones, diseño de circuitos impresos (PCB), pruebas (Díaz, 2018, p. 10)
3. Software: Memoria técnica de Ingeniería de Software, análisis de requerimientos, modelado de requerimientos; diseño de la arquitectura, análisis de pruebas, modelado del software, estimación de costos, calendarización, administración del riesgo y mantenimiento (Pressman, 2010).

Metodología del proceso para el diseño experimental

Tipo de estudio: Explicativo

Hipótesis experimental: Diferencia de grupos atribuyendo causalidad

Diseño del experimento: Experimental puro y transeccional causal (Hernández, 2014, p. 163)

Especificaciones de diseño del microambiente: En proceso de mejora y rediseño continuo.

Tipo de experimento: Cómo afecta en el crecimiento de lechugas romanas el diseño del microambiente instrumentado, bajo las especificaciones de diseño técnicas del módulo PFAL

Variables independientes:

1. Dimensiones cubicas del microambiente (m3)
2. Temperatura del habitad (°C)
3. Nivel de iluminación (Lux)
4. Espectro luminoso (nm)
5. Riego
    a. Flujo (L/H)
    b. Ciclos/Día (#)
6. Solución nutritiva (L)
    a. Macronutrientes y micronutrientes (%g)
    b. Acidez (pH)
    c. Conductividad eléctrica (S/cm)

Variables dependientes:

1. Humedad (%RH)
2. Tasa de crecimiento (g)
3. Peso seco (g)
4. Área Foliar (m2)

Pasos de experimentación:

Paso 1: Evaluación de las variables independientes y dependientes

Paso 2: Elementos de manipulación de las variables independientes, dependiendo el caso algunas son con actuadores eléctricos, instrumentos de medición, procedimientos manuales, entre otras, en el cuadro 1 describe el caso particular para cada una (Hernández, 2014).

Cuadro 1. Manipulación de las variables independientes del sistema Plant Factory con arquitectura de cámara prismática hexagonal (Autoría propia).

Table 1. Manipulation of the independent variables of the Plant Factory system with hexagonal prismatic chamber architecture.

No. de variable independiente	Medida	Subvariable	Elemento de manipulación
1	Metros Cúbicos (m3)		Medidas del microambiente: altura, anchura y base del prisma (Baumont, 2022)
2	Temperatura (°C)		Sistema eléctrico de calefacción y ventilación por sistema de lazo cerrado (sensor de temperatura digital)
3	Iluminancia (Lux)		Sistema eléctrico de control difuso y sensor de luminosidad
4	nanómetros (nm)		Sistema de control difuso
5	Litros (L)	Flujo (L/H)	Sistema de control electrónico (señal PWM)
		Ciclos/Día (#)	Sistema electrónico de control timer (reloj digital)
6	Litros (L)	Macronutrientes y micronutrientes (%g)	Preparación manual por cantidades en báscula de precisión
		Acidez (pH)	Supervisión con instrumento de medición
		Conductividad eléctrica (S/cm)	Supervisión con instrumento de medición

Paso 3: Diseño de instrumento para medición de las variables dependientes (Cuadro 2).

Cuadro 2. Propuesta de instrumentos de medición para evaluación de variables dependientes (Autoría propia).

Table 2. Proposal of measurement instruments for the evaluation of dependent variables.

Variable dependiente	Instrumento de medición
Humedad (%RH)	Bitácora de evolución de grupo con instrumento de medición Termómetro Higrómetro Her-428 Steren
Tasa de crecimiento de cultivo (g)	Registros por días intermedios con báscula de precisión de laboratorio
Peso fresco y seco de cultivo (g)	Registros por días intermedios con báscula de precisión de laboratorio
Área foliar de cultivo (m2)	Acervo fotográfico, registros por días y estudio con programa de cálculo de visión artificial

Paso 4: Se estableció como cultivo expemiemtal lechuga romana de la variedad *parris island,* con ello se diseñaron las rutas críticas de la experimentación de crecimientos en el microhábitat artificial controlada involucrando las variables independientes, el comportamiento de la interacción de las variables dependientes e independientes (Cuadro 3).

Paso 5: Aplicar las prepruebas y pospruebas de crecimientos de lechugas romana *parris island* en el microhábitat artificial controlada, aplicación de los instrumentos de cuantificación para la evaluación de las variables dependientes y la correlación en el crecimiento de las plantas conforme la variación de las variables independientes. En este paso, algunos sujetos serán expuestos a condiciones diferentes, algunos basados en la literatura y las recomendaciones para esperar un máximo crecimiento, otras en ajustes empíricos y otras más para evaluaciones comparativas, y con ello poder cotejar los resultados para solventar las hipótesis experimentales planteadas durante los diferentes procesos de experimentación.

Cuadro 3. Efectos de las variables independientes sobre las variables dependientes (Kozaí, 2016).

Table 3. Effects of the independent variables on the dependent variables (Kozaí, 2016)

No. de variable independiente	Relación matemática	Descripción
1	$V_T = V_A + V_{LW} - V_L$	$V_T(m^3)$ = Volumen Total; V_A = Volumen de la cámara de aire; V_{LW} = Volumen de solución nutritiva en camas de cultivo; V_L = Volumen de perdida
2	$T_H = (A_A + A_L) \cdot 526.565$	$T_H(°C)$ = Temperatura del Habitad; A_A (MJ $m^{-2}h^{-1}$) = Consumo de electricidad de los acondicionadores de aire; A_L(MJ $m^{-2}h^{-1}$) = Consumo de electricidad de las lámparas
3	$LUE_L = \frac{fD}{PAR_L}$	LUE_L = Eficiencia en el uso de la energía lumínica con respecto al PARL; f $(MJ\ KG^{-1})$ =Factor de conversión de masa seca de la planta a energía química; D $(\mu mol\ m^2h^2)$ = Tasa de aumento de masa seca de las plantas; PAR_L $(MJ\ m^{-2}h^{-1})$ = Radiación fotosintéticamente activa emitida por las lámparas
4	400 nm (luz azul) y 700 nm (luz roja)	Los cambios en desviación estándar (+ o - %) producen daños o beneficios colaterales durante los tiempos de crecimiento de cultivo de lechuga (García et.al., 2018:112)
5	$WUE = \frac{W_c + W_p}{W_S}$	$WUE =$ Eficiencia en el uso del agua; $W_c(kg\ m^{-2}h^{-1})$ = Agua líquida recolectada para uso reciclado en el PFAL; $W_p(kg\ m^{-2}h^{-1})$ = Agua retenida en plantas en el PFAL; $W_S(kg\ m^{-2}h^{-1})$ = Tasa de suministro de agua líquida en el PFAL
6	$FUE = \frac{I_U}{I_S}$	FUE =- Eficiencia en el uso de fertilizantes inorgánicos; $I_U(mol\ m^{-2}h^{-1})$ = Tasa de absorción del elemento iónico de fertilizante inorgánico “I” por las plantas; $I_S\ I_U(mol\ m^{-2}h^{-1})$ = Tasa de suministro del elemento iónico de fertilizante inorgánico "I" suministrado al PFAL

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El objeto de estudio propone el diseño para la fabricación de un módulo de microambiente prismático hexagonal, el módulo propuesto se basa en la experiencia de diseño en sistemas ortoédricos, una serie de prototipos fabricados con anterioridad, que en la experimentación se retroalimento con información técnica de prueba y error, recolectando valiosos datos para el ajuste y la experiencia necesaria para realizar pruebas exitosas en cultivos de lechuga en la variedad romana (orejona) y romana parris island, tal y como se muestra en la figura 1 (Castellanos et.al., 2022).

Figura 1. Resultado de producción de lechuga cultivado en Plant Factory en un tiempo de 45 días desde germinación hasta cosecha (Autoría propia).

Figure 1. Production result of lettuce grown in Plant Factory in a time of 45 days from germination to harvest.

El módulo propuesto, es una cámara de cosecha con medidas estándar con dimensiones ajustadas para que una persona pueda acceder al microambiente, la propuesta de diseño se puede apreciar la figura 2.

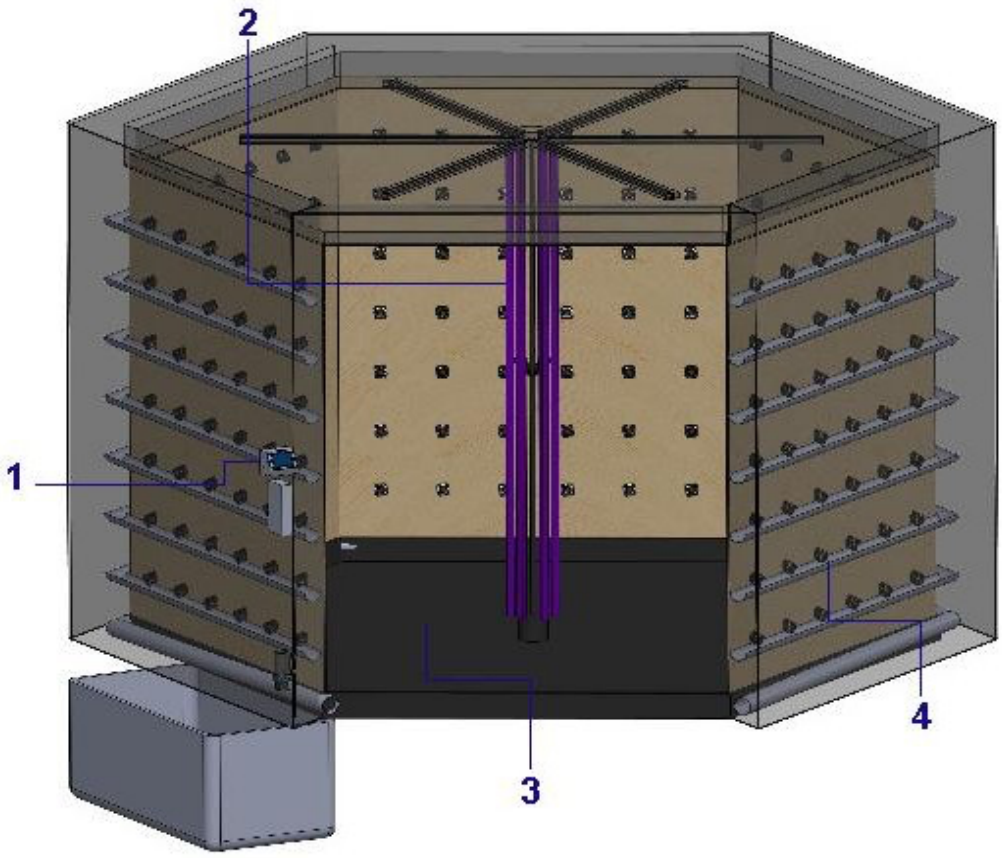

Figura 2. Sistema de producción de microambiente controlado con diseño de prisma hexagonal para cultivos de lechuga. (Autoría propia)

Figure 2. Controlled microenvironment production system with hexagonal prism design for lettuce crops.

La cámara tiene dimensiones de pared a pared de aproximadamente 2.8 m, lo cual provee un microambiente controlado para fácil operatividad por el usuario, el sistema cuenta con 4 secciones importantes:

1. *Sistema de control principal:* Tablero de control para los ajustes operativos de la cámara, donde se controla las variables dependientes e independientes del sistema como son: Temperatura (°C), Humedad (%RH), Luminosidad (Lux), ciclos de riego, tiempo de riego, etcétera.

2. *Sistema de iluminación:* Dotado con un mecanismo interno que permite realizar el desplazamiento axial de las luces; la radiación lumínica que las plantas requieren es insuficiente para acelerar el proceso fotosintético, por lo tanto, el sistema retráctil permite acercar un panel de Led's de luz compuesta (2400 led´s), dando la dosis adecuada y ajustando su carrera conforme se realiza el crecimiento del cultivo en el muro de siembra (el panel de luminarias no se anexó en la figura 1 para apreciar mejor el modelo, los soportes de color morado indican puntos de fijación para los paneles)
3. *Cámara interna de siembra:* Compuesto por 6 paredes internas que conllevan los puntos de siembra para el crecimiento de los cultivos dentro del microambiente controlado, el cultivo crece en el muro, recibiendo la radiación de las luminarias y la alimentación por la pared de atrás, los espacios están calculados con una tolerancia de aproximadamente 25 cm circundantes para un crecimiento adecuado del cultivo de lechuga, y cuentan con una inclinación de 30° con respecto al muro.
4. *Sistema de riego :* En la parte interna del muro, se encuentra un cajón con acceso de puerta, que aísla a las raíces del contacto con la luz, también cuenta con un circuito hidráulico que recolecta la solución nutritiva para abastecer un sistema de tubería con una pendiente de aproximadamente 5° de inclinación con respecto a nivel de piso, la cual, se encuentra por todo el muro vertical interconectado, de este modo y bajo la anatomía de los contenedores de raíces la solución nutritiva cae en forma síncrona a todos los puntos de siembra por acción de la gravedad por el circuito hidráulico, hasta llegar al punto de recolección de retorno y así reabastecer el depósito de solución nutritiva, de este modo el proceso se vuelve cíclico.

Las cuatro secciones globales anteriormente descritas, explican ha groso modo el formato de funcionamiento, el Cuadro 4 describe de forma puntual las especificaciones técnicas de las variables operativas del sistema en su acción conjunta.

Cuadro 4. Características técnicas del módulo de cámara prismática hexagonal (Autoría propia).

Table 4. Technical characteristics of the hexagonal prismatic camera module.

Sección	Característica técnica	Resultado
Características generales	Puntos de siembra por pared	42 puntos
	Cantidad de muros verticales	5 muros
	Puntos de siembra totales	210 puntos
	Separación entre cada punto de siembra	25 cm
	Dimensiones de los muros de siembra	200 x 161 cm
	Volumen total de la cámara	14 m^3
	Temperatura interna operativa	26 – 32 °C
Hidráulica	Dimensiones de los protectores de raíces	Las canastillas se representan como un cilindro de 5 cm de diámetro por 5.2 cm de largo, más la saliente que sirve de soporte a la plántula que se representa por un cilindro recortado de forma angular con un diámetro de 5 cm por un largo de 41 mm en su parte más corta y 3.5 cm en su parte más larga
	Volumen del depósito	310 L
	Tipo de bomba hidráulica	Diafragma
	Capacidad de la bomba de agua	5 L/min
	Periodos de riego	Intervalos de 10 min de activación por periodos de 15 min durante el día. En noche 10 min de activación en periodos de 2 horas
	Flujo de solución nutritiva suministrado por cada riego	50 litros suministrados por cada periodo de riego
	Recorrido del líquido por el sistema de riego	59.3 m de recorrido
Iluminación	Tipo de led's	SMD 5730
	Cantidad de Léd's por pared	2400 Led's totales (1600 rojos, 560 azul, 160 blancos, 80 IR)
	Consumo por muro	480 kWh
	Consumo total luminarias	2.4 kWh
	Nivel de iluminación esperada	6000 lux
	Horas de trabajo al día	16 horas
	Consumo esperado por día	38.4 kWh
Producción (Plantas)	Especie	Preferentemente lechuga *Romana Parris Island* o *Maximus,* y también derivados
	Valores de σ (Conductividad eléctrica)	Plántula: 1.2-1.4 dS/m Desarrollo: 1.6-1.7 dS/m Final: 1.8-2.0 dS/m

Continuación Cuadro 4

Producción (Plantas)	Valor de pH	5.5-6.5
	Especificaciones de la solución nutritiva	1000 L contiene: Macronutrimentos: Nitrógeno (N) 115 ppm, Fósforo (P) 31 ppm, Potasio (K) 248 ppm, Calcio (Ca) 94 ppm, Magnesio (Mg) 32 ppm, Azufre (S) 72 ppm Micronutrimentos: Hierro (Fe-EDTA) 150 ppm, Manganeso (Mn-EDTA) 0.30 ppm, Zinc (Zn-EDTA) 0.80 ppm, Cobre (CU-EDTA) 0.05 ppm, Boro (B) 0.25 ppm, Molibdeno (Mo) 0.35 ppm (INVERFARMS, 2022)
	Tiempo de cosecha	40-45 días (contando tiempo de germinación)
	Peso esperado por planta	330 gr
	Volumen total de cosecha esperado	69.3 kilogramos

En el punto 1 se específica el sistema de control principal, el cual es un conjunto de subsistemas electrónicos y de programación que de forma simbiótica operan el control de la cámara prismática hexagonal, así el usuario cuenta con una interfaz para el control y ajuste de las variables operativas del sistema, la figura 3 muestra la interacción de la interfaz de control en formato de diagrama de flujo de sistema (Lucidchart, 2022) con los elementos de actuación y la manipulación de las variables independientes de la cámara de crecimiento.

Como se puede observar en la figura 3, la interconexión de los flujos de proceso dota al dispositivo de una red de intercambio de variables para establecer su operatividad, en el cuadro 5 se describe de forma más clara la interacción de los procesos de flujo técnico operativo.

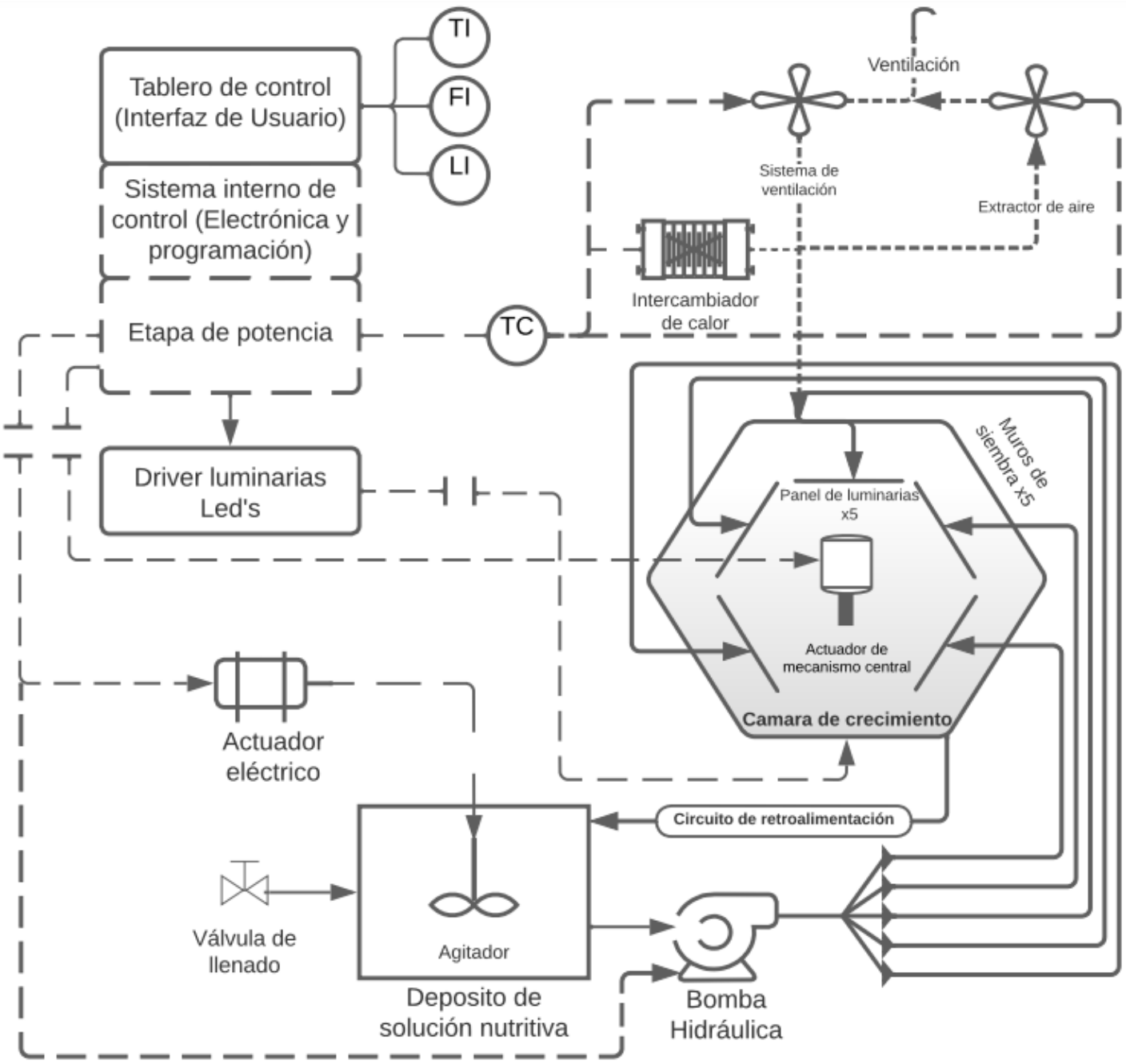

Figura 3. Diagrama de flujo de sistema de elementos operativos de cámara prismática hexagonal (Autoría propia).

Figure 3. Hexagonal prismatic chamber operating element system flow chart.

Cuadro 5. Explicación de los procesos y subprocesos del sistema (Autoría propia).

Table 5. Explanation of the processes and threads of the system.

Proceso	Subproceso	Descripción
Tablero de control	Interfaz de usuario	Contiene la pantalla TFT de 3.5" para el despliegue de información, así como los botones tipo *microswitch push button* como interfaz de entrada e indicadores de temperatura (*TI*), flujo (*FI*) y nivel (*LI*)
	Sistema interno de control	Sistema embebido de control que cuenta con un sistema microcontrolado para el soporte de algoritmo de programación de control y gestión de la operatividad por la configuración de los componentes electrónicos
	Etapa de potencia	Asilamiento electrónico del sistema embebido y los actuadores de potencia, envía señales de control: 1. Controlador de temperatura (*TC*) para la gestión del sistema de ventilación en sus tres partes (Intercambiador de calor, Sistema de ventilación y extractor de aire) *2. Drivers de luminarias*, suministra la potencia energética necesaria a los paneles de luminarias Led 3. Señal de activación para *actuador mecánico central* para activar el recorrido de carrera hacia adelante o atrás, y así ajustar la carrera de las luminarias en el punto focal correcto (de 25 a 30 cm con respecto a la masa foliar del cultivo), los paneles cuentan con sensores de proximidad para saber qué tan lejos o cerca se encuentran en promedio de la masa foliar 4. Señal de activación para *actuador eléctrico*, la cual,por medio de una brida transfiere el torque al dispositivo *agitador* de la solución nutritiva y la activación de la bomba de diafragma para impulsar el riego
	Señal eléctrica	Especificado en el diagrama como línea punteada regular - — — →
Sistema hidráulico	Depósito de solución nutritiva	Tanque de 310L para contener la solución nutritiva enriquecida con los macros y micronutrientes.
	Válvula de llenado	Válvula de perilla manual para rellenado del *depósito de solución nutritiva*
	Agitador	Sistema de aspas helicoidales para agitación de la solución nutritiva
	Bomba hidráulica	Bomba de tipo diafragma para empuje de la solución nutritiva para alimentación del circuito hidráulico
	Circuito de retroalimentación	Conexión de tubería hidráulica con conexión de retorno al *depósito de solución nutritiva*
	Tubería hidráulica	Especificado en el diagrama como línea continua ——→
	Ventilación	Sistema de adquisición de aire del exterior

Continuación Cuadro 5

Control de ventilación y temperatura	Sistema de ventilación	Sistema para ingreso de aire a la cámara, cuenta con algunos filtros para atrapar partículas externas de tamaño moderado
	Extractor de aire	Sistema para expulsión de gases por proceso fotosintético y aire caliente
	Intercambiador de calor	Sistema para calentamiento o enfriamiento del aire ingresado por el *sistema de ventilación* (por lo cual cuenta con dos módulos), el aire inyectado por el sistema de ventilación puede ser calentado por un sistema resistencias eléctricas o enfriado por un sistema de compresión de gases por un intercambiador de calor tubular, la acción de control depende de la configuración de temperatura promedio que se censa (por medio de los sensores instalados en puntos estratégicos dentro del habitad artificial) y se configura en la cámara de crecimiento
	Circuito de ventilación	Especificado en el diagrama como línea punteada corta ---------→
Cámara de crecimiento	Muros de siembra	Muro vertical que cuenta con receptáculos de siembra para el crecimiento de las variedades de cultivos, por la parte de atrás de la cámara corre el circuito hidráulico que alimenta con solución nutritiva a las plantas, y así protege a la raíz del contacto con la luz
	Paneles de luminarias	Paneles de 480 kW/h con 2400 led's (ver cuadro 2), conectados al mecanismo de carrera lineal operado por el *actuador mecánico central* para el despliegue o repliegue de los 5 paneles conectados, se ajusta por medio de sensores de posición a 25-30 cm con respecto a la masa foliar
	Actuador de mecanismo central	Actuador de carrera lineal de pliegue y despliegue que mueve forma síncrona los 5 *paneles de luminarias*, para ajustarlos a la distancia correcta con respecto al muro, el panel en su carrera cero se retrae lo suficiente para permitir la entrada a una persona a la *cámara de crecimiento*, así, realizar los procesos de siembra, cosecha, inspección y mantenimiento necesarios

Como se puede apreciar la interconexión de los sistemas permite operar de forma sinérgica todos los procesos de la cámara prismática hexagonal para así brindar una mini-hábitat sintética con las condiciones óptimas de crecimiento artificial.

Un punto particular del sistema es el mecanismo para el control de los paneles de iluminación, esto garantiza que las hortalizas tengan radiación lumínica adecuada durante la mayor parte de su crecimiento, esto se logra al instalar una serie de sensores de proximidad (sensores ultrasónicos e infrarrojos), para así

promediar en los 5 muros el crecimiento de la masa foliar, como el sistema es un mecanismo que aporta la misma distancia a los 5 paneles, el promedio de ajuste garantiza en una desviación estándar de ±5%, una distancia adecuada durtante toda la etapa de crecimiento.

CONCLUSIÓN

Las propuestas comunes de PFAL en su mayoría lideran en formas ortoédricas, los cuales dentro de la industria han demostrado tener un gran liderazgo, por el gran aprovechamiento de las fuentes lumínicas, temperatura, humedad y eficiencia en procesos de riego, aun así el mundo de los PFAL debe reinventarse, las columnas verticales proponen sistemas circundantes que captan la radiación lumínica por medio de los filtros de invernaderos o fuentes artificiales, por otro lado los muros verticales adoptan estrategias similares, pero las cápsulas con fuente lumínica central, tienen aún, caminos de experimentación ingenieril para adoptarse como alternativas dentro del ámbito de las Plant Factory, la experimentación y el estudio den la eficiencia de cultivos en los diferentes formatos, es la única vía para retomar datos cuantitativos y realizar una análisis de comparativa de la geometría óptima que estos sistemas debieran llevar para generar reflexiones técnicas sobre ¿qué técnica es mejor?, ¿cuáles cultivos se adaptan mejor a las diferentes geométricas?, ¿ventajas y desventajas sobre las diferentes formas? Y, finalmente, posibilite dar respuesta a las hipótesis planteadas sobre las investigaciones de las formas de modelos de utilidad y patentes que permitan ser una directriz para el diseño óptimo de los sistemas de producción de las Plant Factory.

Realizar el estudio por sistema CAD para la simulación de un análisis de elementos finitos para predecir los resultados de control de temperatura y su afectación sería otra etapa para complementar la propuesta del presente microclima, al ser una cámara casi hermética la temperatura se puede controlar de forma sencilla con los sistemas de ventilación, calefacción y, en su caso, los de enfriamiento necesarios, dado que las perturbaciones al sistema son mínimas.

Un controlador PID puede mantenerlas en estados óptimos operativos, la experiencia práctica en el tema de temperatura en los sistemas ortoédricos de baja escala, han sido sencillos de establecer en su *set point* operativo óptimo, sin necesidad de algoritmos de *machine learning.*

Con los datos la memoria técnica obtenidos en la experimentación y el diseño de módulos ortoédricos se tienen los elementos técnicos para plantear propuestas de diseño de un sistema de cámara Plant Factory con arquitectura de cámara prismática hexagonal en formato de muro vertical; tal y como se ha expuesto en la propuesta de diseño planteado a lo largo del presente trabajo

Agradecimientos

Los resultados forman parte de proyecto de Desarrollo y Transferencia de Tecnológica (DTT), impulsados por los programas de investigación de la Dirección General de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma Chapingo (UACh), así mismo a la línea de investigación No. 6 de “Ciencia y tecnología aplicada en la agricultura 4.0 para el desarrollo rural” perteneciente al centro de investigación No. 82 CIISCINACYC, del Departamento de Sociología Rural y la División de Ciencias Económico Administrativas.

LITERATURA CITADA

Baumont De Oliveira, Francis. (2022). A Typology Review for Vertical Plant Farms: Classifications, Configurations, Business Models and Economic Analyses. 10.13140/RG.2.2.24729.49766/2.

Castellanos, L. T., Gómez, M. V., Paniagua, F., Castellanos, J. A., & Rodríguez, A. M. (2022). Software engineering for a mini-PFAL (plant factory with artificial lighting) with IoT interconnectivity. Revista ciencias técnicas agropecuarias, 31(3). https://rcta.unah.edu.cu/index.php/rcta/article/view/1642

Castellanos, L. T., Gómez, M. V., Sedano, G. & Pérez, M. A. (2022). Propuesta de diseño de un mini-PFAL aplicando metodología de Matriz de Marco Lógico. Reporte de Resultados de primera etapa de construcción y diseño. En ASMIIA, AC. (Eds.) *Políticas públicas, agricultura familiar y fortalecimiento rural* (págs. 26-43).

Contreras Avilés, C. W. (2020). Fábrica de plantas con iluminación artificial para el cultivo y preservación sostenible de hierbas medicinales. Revista Prisma Tecnológico, 11(1), 1–10. https://doi.org/10.33412/pri.v11.1.2522

Contreras Hernández J. (2021). Retos alimentarios 2030: Objetivos, recomendaciones... alternativas, realidades. Journal of Behavior and Feeding, 1(1), 86–95.

Ding, B.-J., Hofvander, P., Wang, H.-L., Durrett, T. P., Stymne, S., & Löfstedt, C. (2014). A plant factory for moth pheromone production. *Nature Communications*, *5*(1), 3353. https://doi.org/10.1038/ncomms4353

FAO (2023). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: México y FAO: colaboración por sistemas agroalimentarios sostenibles y resilientes, para no dejar a nadie atrás. (n.d.). Fao.org. Retrieved March 29, 2023, from https://www.fao.org/mexico/noticias/detail-events/en/c/1609951/

García, J. E. B., Arriaga, A. I. M., Tavera, V. M., Hernández, J. R., & Nieto, J. E. R. (2018). USO EFICIENTE DEL AGUA DE PLANTAS DE LECHUGA EN RESPUESTA A DIFERENTES LONGITUDES DE ONDA. JÓVENES EN LA CIENCIA, 4(1), 109–113. http://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/2868

Gobierno de México. (2021). En México hay 84.1 millones de usuarios de Internet y 88.2 millones de usuarios de teléfonos celulares: ENDUTIH 2020. gob.mx. Recuperado el 2 de septiembre de 2022, de https://www.gob.mx/sct/prensa/en- mexico-hay-84-1-millones-de-usuarios-de-internet-y-88-2- millones-de-usuarios-de-telefonos-celulares-endutih-2020?idiom=es

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6a. ed. --.). México D.F.: McGraw-Hill

INVERFARMS HIDROPONIA MEXICO. (s/f). Com.mx. Recuperado el 29 de agosto de 2022, de https://inverfarms.mercadoshops.com.mx

Jaramillo, N., Escuela Colombiana de Carreras Industriales, Ochoa, A., Páez, W., & Peña, A. (2017). TECNOLOGÍA 5G. Revista de Ingeniería Matemáticas y Ciencias de la Información, 4(8), 41–45. https://doi.org/10.21017/rimci.2017.v4.n8.a31

Kozai Toyoki, Fujiwara Kazuhiro, Runkle Erik. (2016) LED Lighting for Urban Agriculture. Springer, Singapore.

Kozai Toyoki, Niu Genhua, Takagaki Michiko (2015) Plant factory: an indoor vertical farming system for efficient quality food production. Academic. Springer, Singapore.

Kozai, T., Niu, G., & Takagaki, M. (2019). *Plant factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production*. Academic Press.

Lucidchart. *Notación y símbolos para Tubería e Instrumentación*. (s/f). Lucidchart. Recuperado el 28 de agosto de 2022, de https://www.lucidchart.com/pages/es/notacion-y-simbolos-tuberia-e-instrumentacion

Melgar, M. (2018). AGRICULTURA DIGITAL O AGRICULTURA 4.0. Cengicana.org. Recuperado el 12 de septiembre de 2022, de https://cengicana.org/files/2018091813553326.pdf

Murase, H. (2015). The latest development of laser application research in plant factory. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, *3*, 4–8. https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.01.003

Pavas, A. (2016). Visibilidad de la Revista Ingeniería e Investigación. *Ingeniería e Investigación*, *36*(3), 3. https://doi.org/10.15446/ing.investig.v36n3.61596

Pressman, R. (2010). Ingeniería del software: un enfoque práctico. Madrid: McGraw-Hill Interamericana.

Solidworks. *Métodos de diseño (diseño ascendente y descendente)*. (s/f). Solidworks.com. Recuperado el 5 de septiembre de 2022, de https://help.solidworks.com/2018/spanish/SolidWorks/sldworks/c_design_methods.htm

Steren, (2023).Termo higrómetro digital. (n.d.). Retrieved March 31, 2023, from https://www.steren.com.co/termo-higrometro-digital.html

Artículo científico

CIENCIA E INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA
DE LA UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO
Vol. 5, Núm. (2023), pp. 65-72.

EVALUACIÓN FARMACOLÓGICA DE LA ACTIVIDAD ANTINOCICEPTIVA DEL LIOFILIZADO DE PITAYA (*HYLOCEREUS* SP.)

PHARMACOLOGICAL EVALUATION OF THE ANTINOCICEPTIVE ACTIVITY OF PITAYA LYOPHILED (*HYLOCEREUS* SP.)

Aguilar Morales M.A[1]; Zapata-Morales J.R[2]; Espinosa-Juárez J.V[3]; Jaramillo-Morales O.A[1*]

[1]*Universidad de Guanajuato. División de Ciencias de la Vida. Departamento de Enfermería y Obstetricia, Ex Hda. El Copal Km. 9.0 Carr. Irapuato Silao, C.P. 36824. Irapuato, Gto.*
[2]*División de Ciencias Naturales y Exactas, Departamento de Farmacia, Universidad de Guanajuato. Col. Noria Alta S/N. Guanajuato, Gto. 36050. México.*
[3] *Escuela de Ciencias Químicas Sede Ocozocoautla, Universidad Autónoma de Chiapas, Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas, México. C.P. 29140, México*
**Autor de correspondencia: oa.jaramillo*@ugto.mx

Fecha de envío: 05, enero, 2023 Fecha de publicación: 16, diciembre, 2023

Resumen:

A lo largo de la historia, los extractos de plantas han sido utilizados con fines terapéuticos. Sin embargo, sus efectos son atribuidos de manera empírica y muchos de ellos carecen de evidencia científica. En este sentido, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto antinociceptivo de diferentes dosis del liofilizado de Pitaya (*Hylocereus* sp.) en el modelo de formalina. La conducta nociceptiva (número de sacudidas) fue evaluada en Ratas Wistar después de la administración intraplantar con 5% de formalina. La administración oral de las diferentes dosis del liofilizado de Pitaya (30 y 100 mg/kg) mostraron una disminución estadísticamente significativa dosis dependiente en el número de sacudidas en la fase inflamatoria comparado con el grupo control, pero sin diferencia con el fármaco de referencia (ácido acetilsalicílico). Por tanto, nuestros resultados muestran por primera vez la actividad antinociceptiva dosis dependiente del liofilizado de Pitaya en dolor inflamatorio.

Palabras clave: principios activos, remedios, plantas, pitaya, antinocicepción.

Abstract:

Throughout history, plant extracts have been used for therapeutic purposes. However, the pharmacological effect derived from the extracts is traditionally known, therefore, many of them lack scientific evidence. In this sense, the objective of the present study was to evaluate the antinociceptive effect of different doses of the freeze-dried Pitaya (*Hylocereus* sp.) in the formalin model. Nociceptive behavior (number of twitches) was evaluated in Wistar rats after intraplantar administration with 5% formalin. Oral administration of the different doses of pitaya freeze-dried (30 and 100 mg/kg) showed a statistically significant dose-dependent decrease in the number of jerks in the inflammatory phase compared to the control group, but with no difference with the reference drug (acetylsalicylic acid). Therefore, our results show for the first time the dose-dependent antinociceptive activity of Pitaya freeze-dried in inflammatory pain.

Keywords: active principles, remedies, plants, pitaya, antinociception.

INTRODUCCIÓN

México cuenta con una biodiversidad enorme de plantas. De acuerdo con el INEGI nuestro país cuenta con 60,000 especies vegetales (INEGI, 2021). En este contexto, existe evidencia que demuestra que las plantas tienen un impacto positivo en la salud (Guerrero, 2021).

El dolor es un problema de salud pública, por su elevada prevalencia y su repercusión en la calidad de vida de los pacientes, ya que interfiere en su capacidad para desarrollar actividades de la vida diaria, familiar y laboral (Martínez, 2015). En este contexto, los tratamientos actuales que se utilizan para el tratamiento del dolor presentan una baja eficacia y una elevada presencia de reacciones adversas (Martínez, 2014). Por tanto, es necesario proponer nuevas opciones terapéuticas. Dentro de estas alternativas el uso de productos naturales que exhiben propiedades analgésicas debido a una serie de moléculas bioactivas como antioxidantes, glucósidos, terpenos y fenoles (Guerrero, 2021). En este sentido, las Pitayas son naturalmente ricas en estos principios activos y son utilizadas por sus beneficios nutricionales (Luu, 2021). Sin embargo, no está bien establecido en qué sentido modifica la percepción del dolor. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto antinociceptivo de diferentes dosis del liofilizado de la Pitaya en el modelo de formalina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Animales

Se utilizaron ratas Wistar hembras, con un peso corporal entre 180-200 g. Los animales se obtuvieron del bioterio animal de la Universidad de Guanajuato. Los animales fueron mantenidos en cajas de policarbonato bajo condiciones ambientales controladas como: temperatura (22 ± 2 °C) y luz (ciclos de luz/oscuridad de 12 horas) e ingesta de agua y alimento *ad libitum* antes del tratamiento. El empleo y manejo de animales se llevó a cabo siguiendo los lineamientos establecidos en las Guías Éticas para la investigación del Dolor Experimental de la Asociación Internacional para el estudio del Dolor (Zimmermann, 1983) y todos los procedimientos experimentales fueron aprobados por el Comité de Ética para la Investigación de la Universidad de Guanajuato, que se ajustan a las regulaciones establecidas por la Norma Oficial Mexicana para el uso y cuidado de los animales de laboratorio "NOM-062-ZOO-1999". Todas las pruebas experimentales se llevaron a cabo durante la fase de luz. El número de animales de experimentación fue llevado al mínimo y al final de las determinaciones experimentales los animales fueron sacrificados utilizando una sobredosis de dióxido de carbono.

Compuestos

El liofilizado de Pitaya (*Hylocereus* sp.) fue obtenido de ©Maia Orgánicos, México. El Formol y el Ácido Acetilsalicilico (ASA) de Sigma-Aldrich, México y la solución salina isotónica (0.9%) fue adquirida comercialmente de Pisa, México.

Prueba de formalina

Las ratas se ambientaron a una temperatura de 28°C en cilindros transparentes de acrílico por un periodo de 30 minutos con espejos colocados en la parte posterior, con el propósito de observar mejor la conducta a evaluar. ASA y el Liofilizado de Pitaya se administraron en un volumen de 4 ml/Kg vía oral (v.o) a dosis de 30 y 100 mg/kg 30 minutos antes de iniciar la prueba. Una vez transcurrido el tiempo de ambientación se procedió a la administración de 50 μL de formalina al 5% por vía intraplantar en la pata trasera derecha. Inmediatamente después, se regresa la rata al cilindro para observar su conducta. Se cuantificó el número de sacudidas, el intervalo total de la prueba es de 60 minutos con muestreó del conteo en bloques de cada 5 minutos durante un minuto.

Análisis estadístico

Los resultados se expresaron como la media ± EE. La diferencia entre las medias para cada variable fue estimada por un análisis de varianza (ANOVA) de una vía con un post test de Dunnet para establecer la diferencia de medias con un nivel de significancia de $p<0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La formalina al 5% administrada por vía intraplantar en la pata trasera derecha de las ratas produjo el comportamiento nociceptivo esperado. Se encontró una respuesta nociceptiva inmediata (0-15 min, fase 1) y luego de un corto período de reposo, una respuesta inflamatoria (15 a 60 min, fase 2) que comenzó de forma gradual y continuó durante todo el período de observación. En la figura 1 se muestra el curso temporal del número de sacudidas generado por ratas que recibieron el liofilizado de Pitaya (30 y 100 mg/kg v.o) y el fármaco de referencia (ácido acetilsalicílico) a una dosis de 100 mg/kg v.o previo a la inyección de formalina 5%. Se observa que hay una disminución en el número de sacudidas (efecto antinociceptivo) no solo por las diferentes dosis del liofilizado de Pitaya sino también del ASA comparado con el vehículo.

Posteriormente se analizó el área bajo la curva (ABC) por fases de todos los grupos experimentales por el método de los trapezoides. La figura 2, muestra el ABC de la fase 1 (dolor nociceptivo) y fase 2 (dolor inflamatorio) generado por ratas que recibieron las diferentes dosis del liofilizado de Pitaya (30 y 100 mg/kg v.o) y el fármaco de referencia (ácido acetilsalicílico) a una dosis de 100 mg/kg v.o. Al analizar el ABC se observó que el liofilizado de Pitaya y ASA (100 mg/kg) presentaron una disminución estadísticamente significativa del efecto nociceptivo en la fase 2 (dolor inflamatorio) ($p<0.05$). Además, se demostró que el liofilizado de Pitaya exhibió un efecto dosis dependiente, dado que, se aprecia un mayor efecto antinociceptivo a medida que se aumenta la dosis.

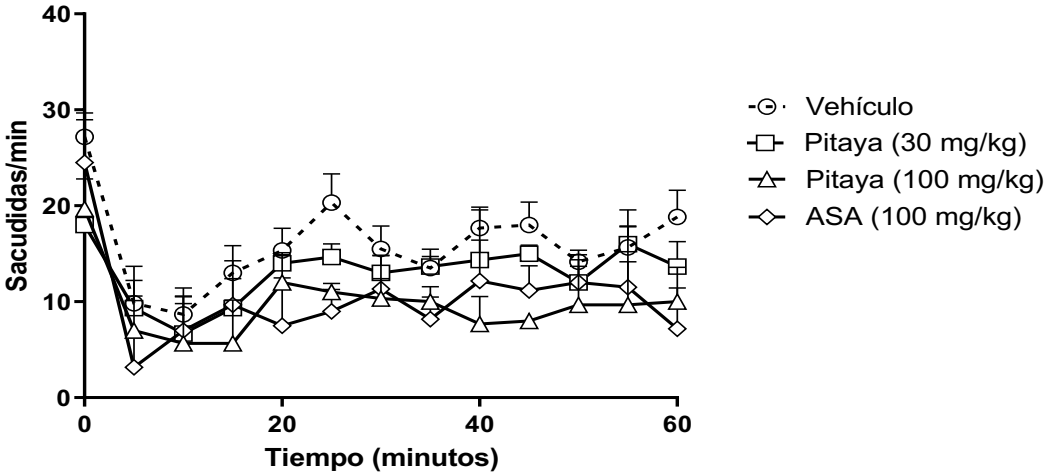

Figura 1. Curso temporal del número de sacudidas generado por ratas que recibieron el liofilizado de Pitaya (30 y 100 mg/kg v.o) y el fármaco de referencia a una dosis de 100 mg/kg v.o previo a la inyección de formalina 5%. Cada punto representa la media ± el E.E. n=6.

Figure 1. Temporal course of the number of shakes generated by rats that received Pitaya lyophilized extract (30 and 100 mg/kg p.o) and the reference drug at a dose of 100 mg/kg p.o prior to the injection of 5% formalin. Each point represents the mean ± the S.E.M. n=6.

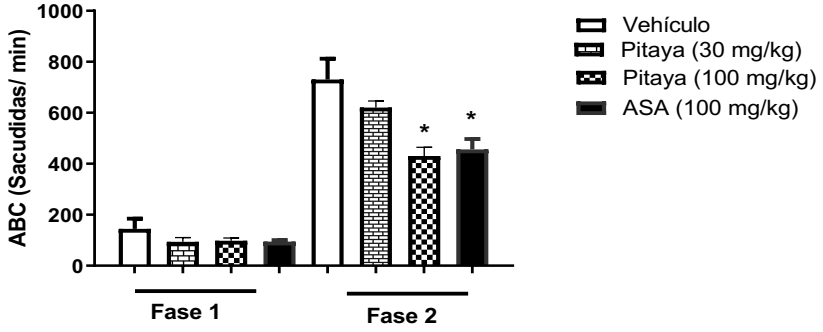

Figura 2. Área Bajo la Curva (ABC) del número de sacudidas en la fase 1 y 2 generado por ratas que recibieron el liofilizado de Pitaya (30 y 100 mg/kg v.o) y el fármaco de referencia (a una dosis de 100 mg/kg v.o previo a la inyección de formalina 5%. Cada punto representa la media ± el E.E. n=6. *p<0.05 vs vehículo.

Figure 2. Area Under the Curve (AUC) of the number of shakes in phase 1 and 2 generated by rats that received Pitaya lyophilized extract (30 and 100 mg/kg v.o) and the reference drug (at a dose of 100 mg/kg p.o prior to the injection of 5% formalin. Each point represents the mean ± the S.E.M. n=6. *p<0.05 vs vehicle.

La Figura 3, muestra el ABC global (ambas fases) generado por ratas que recibieron el liofilizado de Pitaya (30 y 100 mg/kg v.o) y el fármaco de referencia (ácido acetilsalicílico) a una dosis de 100 mg/kg v.o. Se encontró que tanto el liofilizado de Pitaya y el fármaco de referencia, presentaron efecto antinociceptivo global comparado con el grupo vehículo ($p<0.05$).

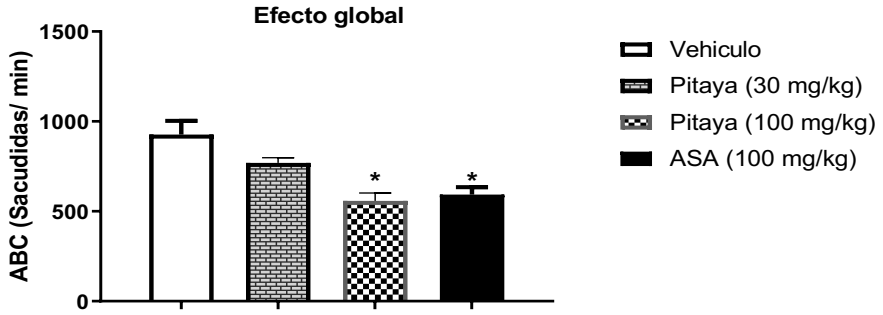

Figura 3. Área Bajo la Curva (ABC) del número de sacudidas global (ambas fases) generado por ratas que recibieron el liofilizado de Pitaya (100 mg/kg v.o) y el fármaco de referencia a una dosis de 100 mg/kg v.o previo a la inyección de formalina 5%. Cada punto representa la media ± el E.E. n=6. *p<0.05 vs vehículo.

Figure 3. Area Under the Curve (AUC) of the total number of shakes (both phases) generated by rats that received Pitaya lyophilized extract (100 mg/kg p.o) and the reference drug at a dose of 100 mg/kg p.o prior to the injection of 5% formalin. Each point represents the mean ± the S.E.M. n=6. *p<0.05 vs vehicle.

El presente trabajo muestra por primera vez que el liofilizado de Pitaya produjo una reducción en el número de sacudidas de pata de las ratas, derivándose en un efecto antinociceptivo dosis dependiente. Estos resultados son consistentes con estudios previos donde ha sido reportado que liofilizados provenientes de plantas u alimentos, por ejemplo, la granada tiene actividad antinociceptiva sobre diferentes tipos de dolor (Nociceptivo, inflamatorio, agudo, crónico o neuropaticos) (Guerrero, 2021). Este efecto farmacológico originado por la Pitaya puede ser debido a sus principios activos, en este sentido se ha reportado que la Pitaya cuenta con propiedades antioxidantes (Luu, 2021), lo cual representa un beneficio para la salud debido a que los antioxidantes juegan un papel muy importante en el adecuado desarrollo molecular y celular, por ende, en el

desarrollo de los tejidos. El papel que juega los antioxidantes en la prevención de la producción de radicales libres inicia con la neutralización de la acción oxidante de los radicales libres con la liberación de electrones de nuestra sangre (Avello, 2006). Además, se ha reportado que los antioxidantes optimizan las acciones biológicas del óxido nítrico (NO) natural *in vivo*. De hecho, los antioxidantes estabilizan el NO y prolongan su concentración celular, protegiéndolo de los radicales libres como especie reactiva de oxígeno (ROS). El NO, como molécula de señalización, se sintetiza a partir del óxido nítrico sintasa (NOS) que cataliza la reacción del oxígeno molecular con el aminoácido sustrato L-arginina para producir NO. El NO actúa como modulador en la médula espinal y los ganglios de la raíz dorsal a través de las vías nociceptivas y media el dolor (Gomes, 2020). Por consiguiente, podríamos sugerir que unos de los posibles mecanismos responsables del efecto antinociceptivo de la Pitaya puede ser debido a los antioxidantes reportados en esta planta.

CONCLUSIÓN

Estos resultados proporcionan evidencia de que el liofilizado de pitaya produce una disminución significativa dosis dependiente en la respuesta nociceptiva (antinocicepción) en dolor inflamatorio. Futuras investigaciones son necesarias para discernir sus posibles mecanismos de acción responsables de esta actividad farmacológica.

Agradecimientos

Esta investigación fue apoyada con fondos del programa institucional de Veranos de la Ciencia Universidad de Guanajuato. Al Dr. Juan Ramón Zapata Morales quien facilitó el material y los recursos necesarios. Asimismo, al Dr. Osmar Antonio Jaramillo Morales quien fomentó en mí el interés y la pasión por la investigación.

LITERATURA CITADA

Conabio. (1998). La diversidad biológica de México: estudio de país. (13/07/2022). Recuperado de: https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/pais/files/divBiolMexEstPais98.pdf

INEGI. (2021). Estadísticas a propósito del día mundial del medio ambiente (5 de Junio). (13/07/2022). Recuperado de: https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2021/AMBIENTE2021.pdf

T. Luu, T. Le, N. Huynh, P. Alonso. (2021). e. Czech Journal of Food Sciences, 39: 71–94.

Avello, Marcia, & Suwalsky, Mario. (2006). Radicales libres, antioxidantes naturales y mecanismos de protección. Atenea (Concepción), (494), 161-172. Recuperado de: https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-04622006000200010&script=sci_arttext

C. Martínez, F. Collado, J. Moya. (2015). El alivio del dolor: un derecho humano universal. *Rev Soc Esp Dolor*; 22(5): 224-230. https://scielo.isciii.es/pdf/dolor/v22n5/07_aespecial.pdf

L.M. Martínez, G.I. Martínez, D. Gallego, E.O. Vallejo, J.S. Lopera, N. Vargas y J. Molina (2014). Uso de terapias alternativas, desafío actual en el manejo del dolor. Rev Soc Esp Dolor; 21(6): 338-344. https://scielo.isciii.es/pdf/dolor/v21n6/07_revision2.pdf

J. Guerrero, M. Bautista, C. Velázquez, M. O-Arciniega, L. Guillermo, M. Fernández, O. Jaramillo. (2021). Antinociceptive Synergism of Pomegranate Peel Extract and Acetylsalicylic Acid in an Animal Pain Model. Molecules 2021, 26, 5434. https://doi.org/10.3390/molecules26185434

F. Gomes, Q. Cunha, M. Cunha (2020). Peripheral nitric oxide signaling directly blocks inflammatory pain. Volume 176, 113862. https://doi.org/10.1016/j.bcp.2020.113862