

ABRIL 20 - 21 2023

**UNIENDO MENTES Y  
TRANSFORMANDO EL MUNDO CON  
LAS MATEMÁTICAS Y LAS CIENCIAS  
EXACTAS - AJ FRESNILLO 2023**

---

TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN DEL CONGRESO  
INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN ACADEMIA  
JOURNALS FRESNILLO 2023

**CONGRESO  
ACADEMIA JOURNALS  
FRESNILLO 2023**

## **Título del Libro Electrónico:** *Uniendo Mentes y Transformando el Mundo con las Matemáticas y las Ciencias Exactas - AJ Fresnillo 2023*

ISBN 979-8-89020-006-8 online\*

Este libro electrónico (e-book) contiene la colección de los trabajos de investigación presentados en el área de *matemáticas y ciencias exactas* en el Congreso Internacional de Investigación Academia Journals Fresnillo que fuera organizado los días 20 y 21 de abril de 2023 por Academia Journals en colaboración con el Patronato de Apoyo y Fomento para Zacatecas.

### **POLÍTICA DE COPYRIGHT**

Con el fin de maximizar el valor para los autores de sus publicaciones en AJ, se observan la políticas de copyright aquí descritas. Academia Journals protegerá los intereses de los autores y de las instituciones donde ellos laboran. Como requisito para publicar en AJ, todos los autores y la institución donde ellos laboran transfieren a AJ cualquier derecho de copyright que tengan en su artículo. El copyright se transmite cuando el artículo es aceptado para su publicación. La asignación de copyright es nula y terminada en caso de que el artículo no sea aceptado para publicación. Para corresponder a la transferencia de los derechos de autor, AJ cede a los autores y a las instituciones donde ellos laboran el permiso y derecho de hacer copias del artículo publicado y utilizarlo para fines académicos. El autor retiene siempre los derechos de patentes descritas en el artículo. Después de que el artículo haya sido aceptado para su publicación en AJ, y dado que el copyright ha sido ya transferido, cualquier cambio o revisión al material debe hacerse solamente con la autorización de AJ.

### **CONSEJO ACADÉMICO**

Dr. Rafael Moras (San Antonio, EEUU)  
MA Ani Alegre (Austin, EEUU)  
Dr. Ángel Esparza (Houston, EEUU)  
Lic. David Moras (San Antonio)  
MC Constantino Moras Sánchez (Orizaba, México)  
Dr. Eloy Mendoza Machain (Morelia, México)  
Dr. Pedro López Eiroá (CDMX, México)  
Dr. Víctor Mendoza (Puebla, México)  
Dr. Albino Rodríguez Díaz (Tepic, México)  
Vicerrector Dante Agatón (Morelia, México)

### **DISEÑO Y PUBLICIDAD**

contacto@academiajournals.com

### **COMENTARIOS Y SUGERENCIAS**

contacto@academiajournals.com  
+1 (210) 415-3353  
3760 E. Evans  
San Antonio TX 78259 USA  
www.academiajournals.com

\*El ISBN fue asignado a este libro por la Agencia de ISBN en Estados Unidos. Los números de copyright tienen validez mundial. Para comprobar la validez de un ISBN, favor de visitar la página [bookwire.com](http://bookwire.com).



Paper	Título	Autores	Primer autor	Página
FRE079	Rediseño de una Red de Distribución de Mercancías en Tiendas de Conveniencia a Través de un Modelo de Optimización Lineal Mixta	Ing. Ana María Nava Salazar Dr. Leonardo Gabriel Hernández Landa Dr. Luis Alfonso Infante Rivera	Nava Salazar	1
FRE096	Calibración Cualitativa para la Proyección de Franjas Nulas	Dra. Paula Ortega Vidals Dr. Edwin Román Hernández Víctor Iván Moreno Oliva Ing. Jaime Peña Antonio	Ortega Vidals	7
FRE090	Desarrollo de un Alimento Balanceado para Lechones Destetados con un Reemplazo del 100% de Pasta de Soya por Harina de Larva Hermetia Illucens como Aporte Proteico	Lic. Alonso Ortiz Luviano M. en C. Benito Parra Pacheco M. en C. Hugo Gonzales Lara Dr. Juan Fernando García Trejo	Ortiz Luviano	11
FRE047	Bacterias Halófilas como Biorremediadores de Suelos Salinos	Lic. Ana Karen Pérez Bohorquez Dra. Gisela Santiago Martínez Dr. Gerardo Rodríguez Ortiz Dr. Ernesto Castañeda Hidalgo Dr. Carlos I. Cortes Martínez Dr. Alfonso Vásquez López	Pérez Bohorquez	14

# Rediseño de una Red de Distribución de Mercancías en Tiendas de Conveniencia a Través de un Modelo de Optimización Lineal Mixta

Ing. Ana María Nava Salazar<sup>1</sup>, Dr. Leonardo Gabriel Hernández Landa<sup>2</sup>,  
Dr. Luis Alfonso Infante Rivera<sup>3</sup>

**Resumen**— Dentro de los procesos de la cadena de suministro se encuentra el almacenaje que es una forma de compensar los desequilibrios que existen entre la oferta y la demanda de productos. El decidir dónde ubicar un almacén es una decisión clave para la empresa ya que afectará de manera directa los costos generados por la distribución de los productos, seleccionar la mejor alternativa para localizar los almacenes de consolidación permitirá reducir esos costos de distribución. Se diseña un modelo de apoyo a la toma de decisiones que localice almacenes de consolidación para la distribución óptima de productos, considerando diferentes ubicaciones potenciales, diferentes productos y proveedores, así como diferentes formas de aprovisionamiento y cobertura de proveedores. Las herramientas utilizadas para resolver el problema fueron la optimización lineal entera mixta, para la codificación del modelo se utilizó el lenguaje de programación Python y el solver CPLEX para la solución final del código.

**Palabras clave**—Rediseño, almacén, consolidación, optimización y distribución.

## Introducción

Las empresas se esfuerzan por ofrecer una excelente experiencia de servicio a sus clientes a través de la coordinación de sus procesos internos y externos, y el uso de recursos e información completa, correcta y oportuna. Todos estos procesos, actividades, recursos e información forman parte de la cadena de suministro (CS), que abarca la producción, distribución, manipulación, almacenamiento y comercialización de un producto y sus componentes.

El almacenamiento es una parte crucial de la CS, ya que es necesario para regular el mercado de consumo (Escudero, 2011). Por esta razón, muchas compañías industriales, comerciales o de servicios necesitan nivelar los desequilibrios entre la oferta y la demanda de productos (Flamarique, 2019).

La ubicación de instalaciones es un elemento crítico en la planificación estratégica de una amplia gama de empresas, tanto públicas como privadas, debido a las ventajas que ofrece el almacenamiento. Las ramificaciones de la ubicación de las instalaciones son amplias y duraderas, lo que afecta a numerosas decisiones operativas y logísticas a largo plazo (Hesse y Daskin, 1998).

Algunas razones por las que la ubicación del almacén es importante son:

1. **Accesibilidad:** La ubicación del almacén debe permitir un fácil acceso a los proveedores y clientes, lo que reduce los costos de transporte y mejora la eficiencia de la cadena de suministro.
2. **Proximidad a la demanda:** Si el almacén está ubicado cerca de los mercados a los que se dirige, se reducen los costos de envío y se acorta el tiempo de entrega de los productos.
3. **Costos:** La ubicación del almacén puede afectar significativamente los costos operativos. Por ejemplo, un almacén ubicado en una zona con costos de arrendamiento más bajos puede ahorrar dinero a largo plazo.

En definitiva, la ubicación del almacén es un factor crítico que puede afectar significativamente la eficiencia operativa y los costos de una empresa. Por lo tanto, es importante tomar en cuenta estos factores al decidir la ubicación de un almacén.

En este trabajo, se estudia la característica de una red de sucursales que se abastece de manera independiente, lo que puede generar un uso inadecuado de los recursos y, por lo tanto, aumentar los costos de distribución. Los proveedores que abastecen esta cadena tienen diferentes formas de entrega a las sucursales, lo que puede generar costos de distribución muy elevados, dependiendo del tipo de entrega.

Para resolver este problema, se clasificaron los proveedores según su método de entrega y se diseñó una red logística que considera almacenes de consolidación para disminuir los costos de distribución en las sucursales. Se desea desarrollar un modelo de apoyo a la toma de decisiones que localice estos almacenes de consolidación para la distribución óptima de productos, considerando diferentes ubicaciones potenciales.

<sup>1</sup> Ing. Ana María Nava Salazar es estudiante de maestría en la Universidad Autónoma de Nuevo León, México. [maria.navas@uanl.edu.mx](mailto:maria.navas@uanl.edu.mx) (autor correspondiente)

<sup>2</sup> El Dr. Leonardo Gabriel Hernández Landa es Profesor Investigador de Tiempo Completo de la Universidad Autónoma de Nuevo León, México. [leonardo.hernandezln@uanl.edu.mx](mailto:leonardo.hernandezln@uanl.edu.mx)

<sup>3</sup> El Dr. Luis Alfonso Infante Rivera es Profesor Investigador de la Universidad Autónoma de Nuevo León, México. [linfanter@uanl.edu.mx](mailto:linfanter@uanl.edu.mx)

## Metodología

### Procedimiento

Basándonos en la investigación literaria revisada, se puede afirmar que la ubicación de instalaciones es una actividad crítica en el ámbito de la gestión de la cadena de suministro, ya que está directamente relacionada con los costos y el nivel de servicio ofrecido. Aunque se han realizado muchos estudios sobre este tipo de problemas, hay pocas investigaciones que aborden situaciones más complejas, como aquellas que involucran múltiples productos y proveedores. Además, en el caso de proveedores que manejan diferentes tipos de aprovisionamiento, una de las características del problema original, no se encontraron estudios relevantes.

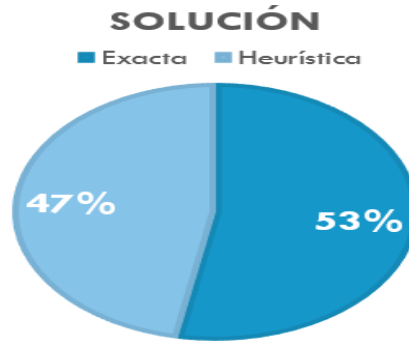


Figura 1. Enfoques de solución para problemas de un solo objetivo.

Para resolver este tipo de problemas, el desarrollo de modelos matemáticos es uno de los métodos más comunes y efectivos (Melo et al., 2009). La figura 1 muestra los porcentajes de los enfoques de solución de un solo objetivo para problemas de ubicación de instalaciones de acuerdo al trabajo de Melo et al., 2009. Debido a que los modelos matemáticos son una herramienta fundamental en la investigación de operaciones (IO), nos enfocaremos en las fases específicas utilizadas en los estudios de IO, tal y como lo sugieren Hillier y Lieberman (2010).

Este proceso de seis etapas describe cómo abordar un problema mediante la creación y uso de un modelo matemático. La primera fase se enfoca en definir el problema y recopilar información pertinente. En la segunda fase, se formula un modelo matemático que refleje el problema. Luego, se desarrolla un proceso informático en la tercera etapa para obtener una solución a partir del modelo. La cuarta fase consiste en probar y mejorar el modelo según sea necesario. La quinta fase se enfoca en prepararse para aplicar el modelo dentro de la organización y documentar su funcionamiento. Finalmente, en la sexta fase, se implementa el modelo y se capacita al personal involucrado. Es importante destacar que si hay cambios significativos en el problema, se debe revisar el modelo y considerar si se necesitan ajustes.

### Descripción formal del problema

En esta sección se describen las características formales del problema de localización de almacenes de consolidación.

#### Conjuntos

I conjuntos de clientes	$I: \{1, 2, \dots, n\}$
J conjuntos de almacenes	$J: \{1, 2, \dots, m\}$
K conjuntos de proveedores	$K: \{1, 2, \dots, o\}$
T conjuntos de productos	$T: \{1, 2, \dots, p\}$

\*Un dato importante es que cada proveedor  $k$ , maneja un tipo de producto  $t$ , así que  $t = k$ .

#### Parámetros

$f_j$	Costo por abrir el almacén en la ubicación $j$
$a_{ij}$	Costo por transportar producto del almacén $j$ al cliente $i$
$b_{jt}$	Costo por transportar producto del proveedor $k$ al almacén $j$
$D_{it}$	Demanda en el cliente $i$ del producto $t$
$M$	Un número muy grande
$PI(i)$	Subconjunto de clientes $i$ a los que puede llegar el proveedor $k$ (cobertura de proveedores)

*Variables*

$$Y_j \begin{cases} 1, & \text{En caso de abrir almacén en localización } j \\ 0, & \text{Otra cosa} \end{cases}$$

$$A_{jt} \begin{cases} 1, & \text{En caso de viaje del proveedor } k \text{ al almacén } j \\ 0, & \text{Otra cosa} \end{cases}$$

$$B_{ij} \begin{cases} 1, & \text{En caso de viaje de almacén } j \text{ al cliente } i \\ 0, & \text{Otra cosa} \end{cases}$$

$u_{ij}^t$ : Cantidad de producto  $t$  que se envía desde almacén  $j$  al cliente  $i$

$v_{jt}$ : Cantidad de producto  $t$  (que se diferencia según su proveedor) que se envía desde el proveedor  $k$  al almacén  $j$

$w_{it}$ : Cantidad de producto  $t$  (que se diferencia según su proveedor) que se envía desde el proveedor  $k$  al cliente  $i$

*Modelo matemático*

**Objetivo:**

**Min. (1)**

$$z = \sum_{j \in J} f_j * Y_j + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} a_{ij} * B_{ij} + \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} b_{jt} * A_{jt}$$

**Restricciones:**

$$V_{jt} \leq M * A_{jt} \quad \forall j \in J, t \in T \quad (2) \quad Y_j \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J \quad (9)$$

$$U_{ij}^t \leq M * B_{ij} \quad \forall i \in I, j \in J, t \in T \quad (3) \quad B_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (10)$$

$$\sum_{j \in J} U_{ij}^t + W_{it} = D_{it} \quad \forall i \in I, t \in T \quad (4) \quad A_{jt} \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J, t \in T \quad (11)$$

$$W_{ik} = 0 \quad \forall t \notin PI(i) \quad (5) \quad U_{ij}^t \geq 0 \quad \forall i \in I, j \in J, t \in T \quad (12)$$

$$V_{jt} \geq \sum_{i \in I} U_{ij}^t \quad \forall j \in J, t \in T \quad (6) \quad V_{jt} \geq 0 \quad \forall j \in J, t \in T \quad (13)$$

$$\sum_{j \in J} Y_j \geq 1 \quad (7) \quad W_{it} \geq 0 \quad \forall i \in I, t \in T \quad (14)$$

$$A_{jt} \leq Y_j \quad \forall j \in J, t \in T \quad (8)$$

donde (1) es la función objetivo, que busca minimizar el costo total, tanto de instalación de almacenes, como del transporte entre los dos niveles, nos ayudará a definir la mejor ubicación del almacén. Las restricciones (2) activa los envíos de mercancía de proveedor a almacén, la (3) activa los envíos de mercancía de almacén a cliente, la (4) es para garantizar que se satisfaga la demanda de cada producto y para cada uno de los clientes, la (5) limita a que cada proveedor solo pueda enviar mercancía directamente a los clientes que se encuentren dentro de su área de cobertura, la (6) esta es una restricción de conservación de flujo, la (7) indica que al menos un almacén se debe de abrir, la (8) indica que los proveedores solo pueden enviar mercancía a los almacenes abiertos y las (9 - 14) son las restricciones lógicas.

**Resultados**

A continuación, se detallará la experimentación computacional realizada para validar el modelo matemático descrito en la sección de metodología. Para analizar el comportamiento del modelo, se generaron instancias aleatorias y se utilizaron herramientas informáticas equipadas con un procesador Intel Core i3-7020U de 2.30 Ghz, 12 Gb de

RAM y sistema operativo de 64 bits para ejecutar los experimentos. El modelo se desarrolló en Python y se utilizó el solver Cplex versión 22.1.1. Se plantearon 5 tamaños de instancias diferentes, donde el tamaño es determinado por la suma de clientes, posibles almacenes y artículos que intervienen en una instancia.

En el Cuadro 1 se proporciona los resultados obtenidos en las diferentes instancias. La columna "Tamaño" indica el número total de elementos en la instancia, que es la suma de los valores de las columnas "Clientes", "Posibles almacenes" y "Productos". El "Valor Gap" representa la calidad de la solución encontrada por el optimizador CPLEX 22.1.1 al finalizar su ejecución, siendo un GAP de 0% indica que se ha encontrado la solución óptima. El "Tiempo de solución" muestra la duración total del procesamiento en segundos, mientras que el "Objetivo" representa el costo total de la instalación del almacén y el transporte de la mercancía entre los niveles proveedor-almacén y almacén-cliente.

Tamaño	Cientes (I)	Posibles almacenes (J)	Productos (T)	Gap (%)	Tiempo de solución	Objetivo
14	6	4	4	0%	0.9451 s.	13,656
	9	2	3	0%	0.6639 s.	15,349
28	14	10	4	0%	2.6196 s.	16,939
	20	4	4	0%	1.8189 s.	19,829
56	30	20	6	0%	15.9280 s.	23,202
	44	6	6	0%	6.9355 s.	30,941
112	60	40	12	0%	439.3810 s.	35,375
	90	10	12	0%	57.3041 s.	48,853
224	120	80	24	65.75%	3,600 s.	79,509
	180	20	24	0%	1,500 s.	84,947

Cuadro 1. Resultados de instancias

*Complejidad computacional*

Mencionar la complejidad computacional en un modelo matemático es importante porque permite evaluar la eficiencia del algoritmo que se está utilizando para resolver un problema. Al conocer la complejidad computacional de un algoritmo, se puede estimar el tiempo y la memoria necesarios para resolver un problema de un tamaño determinado. En el Cuadro 2 se proporciona los resultados de la cantidad de variables y restricciones que se generan en las diferentes instancias ya que esto influye directamente en la complejidad del algoritmo.

Tamaño	Cientes (I)	Posibles almacenes (J)	Productos (T)	Variables	Restricciones
14	6	4	4	181	330
	9	2	3	114	215
28	14	10	4	847	1450
	20	4	4	517	946
56	30	20	6	4,641	8,222
	44	6	6	2,191	4,106
112	60	40	12	32,921	61,682
	90	10	12	13,031	25,322
224	120	80	24	246,801	477,122
	180	20	24	95,301	187,682

Cuadro 2. Variables y restricciones generadas de las instancias

### *Análisis*

Los resultados obtenidos revelan que el software tiene una alta eficiencia para resolver instancias de hasta 112 en un tiempo promedio de 4 minutos. Además, se observó que a medida que aumenta el número de clientes en la instancia, el valor del objetivo también aumenta. También, se encontró que al disminuir la cantidad de posibles ubicaciones de almacenes, el tiempo de ejecución disminuye, incluso con un aumento en el número de clientes. Estos hallazgos indican que el modelo propuesto puede ser una herramienta valiosa para las empresas que buscan optimizar sus operaciones logísticas.

### **Conclusiones**

La entrega efectiva de bienes o servicios a los clientes es un proceso crucial dentro de cualquier cadena de suministro. Para muchas empresas, contar con almacenes de consolidación proporciona agilidad, flexibilidad y competitividad para satisfacer las demandas del mercado y reducir los costos logísticos. Por lo tanto, la ubicación de los almacenes de consolidación es una decisión crítica para el éxito de cualquier negocio. Además, es esencial mantener un control efectivo de las actividades que ocurren dentro y fuera de estos almacenes para asegurar su correcto funcionamiento.

Aunque las herramientas y métodos de solución propuestos no han producido resultados en tiempos favorables para instancias de gran tamaño, el desarrollo de un algoritmo que considera simultáneamente la ubicación de almacenes de consolidación, la red de distribución de mercancías, diferentes tipos de aprovisionamiento y la satisfacción de la demanda, es un gran aporte que permitirá una mejor utilización de los recursos y la minimización de los costos de distribución.

### *Contribuciones*

Este trabajo de investigación nos brinda una herramienta valiosa que puede ser utilizada por cualquier empresa que comparta las mismas características que se utilizaron para desarrollar el modelo matemático. Esta herramienta proporciona información relevante para la toma de decisiones, lo que puede ser de gran ayuda para mejorar la eficiencia y competitividad de la empresa.

### *Limitaciones*

Este trabajo presenta algunas limitaciones, tales como la capacidad del procesador y la memoria de la computadora utilizada para llevar a cabo la experimentación, así como el tiempo máximo de ejecución de 1 hora para instancias de gran tamaño. Si se desea replicar este trabajo en una empresa con características similares al problema original, es importante realizar la experimentación computacional utilizando una PC o una laptop con un procesador y una RAM de buena capacidad para obtener mejores resultados en términos de tiempo de solución y alcance del modelo.

### *Recomendaciones*

Para continuar nuestra investigación, los investigadores podrían enfocarse en agregar las capacidades de los vehículos utilizados para la distribución de productos, incluyendo la capacidad máxima de carga como una restricción adicional. Además, se podría explorar en mayor profundidad el tema de las fechas de caducidad para productos perecederos, ya que esto podría adaptarse mejor a una situación real. Hay un amplio campo de investigación disponible en esta área que podría ser explorado en futuros estudios.

### **Referencias**

Escudero, M. J., "Almacenaje de productos", segunda edición, Ediciones Paraninfo SA, España, 2011.

Flamarique, S., "Manual de Gestión de almacenes", primera edición, Marge books, Barcelona, 2019.

Hesse, S. y M. Daskin, "Strategic facility location: A review", *European Journal of Operational Research*, 1(111), págs. 423-447, 1998.

Hillier, F. y G. Lieberman, "INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES", 9ª edición, The McGraw-Hill, México, 2010.

### **Notas Biográficas**

La **Ing. Ana María Nava Salazar** es egresada de Ingeniería en Sistemas Computacionales por el Instituto Tecnológico Superior de San Pedro, Coahuila (2011) y actualmente es alumna de la Maestría en Logística y Cadena de Suministro de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

El **Dr. Leonardo Gabriel Hernández Landa** es Ingeniero industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Perote, Veracruz (2008), tiene una Maestría en Ciencias en Ingeniería de Sistemas por la Universidad Autónoma de Nuevo León (2011) y un Doctorado en Ingeniería con especialidad en Ingeniería de Sistemas también por la Universidad Autónoma de Nuevo León (2015). Actualmente es profesor investigador de tiempo completo de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Desde enero de 2016.



Sus publicaciones más recientes: «Classification and Clustering of Clients of a Company Dedicated to the Distribution of Auto Parts in the Metropolitan Area of Monterrey». **L. Hernández, R. Mata, A. Vargas, A. García.** En *Computer Science and Health Engineering in Health Services*, Springer, 2021. «The Accessibility Vehicle Routing Problem». **O. Ibarra, L. Ozuna, L. Hernández.** *Journal of Cleaner Production*, 172:1514-1528, 2018.

El **Dr. Luis Alfonso Infante Rivera** es Licenciado en Ciencias Computacionales por la Universidad Autónoma de Nuevo León (2009), tiene una Maestría en Ciencias en Ingeniería de Sistemas por la Universidad Autónoma de Nuevo León (2012) y un Doctorado en Ingeniería con especialidad en Ingeniería de Sistemas también por la Universidad Autónoma de Nuevo León (2016). Actualmente es profesor investigador de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Desde enero de 2016.

Sus publicaciones más recientes: «Packing convex polygons in minimum-perimeter convex hulls». **J Kallrath, T Romanova, A Pankratov, I Litvinchev, L Infante,** *Journal of Global Optimization*, 1-21, 2022. «Sparse layout of irregular 3D clusters». **T Romanova, A Pankratov, I Litvinchev, V Dubinskyi, L Infante,** *Journal of the Operational Research Society*, 1-11, 2022.

## Calibración Cualitativa para la Proyección de Franjas Nulas

Dra. Paula Ortega Vidals<sup>1</sup>, Dr. Edwin Román Hernández<sup>2</sup>,  
Dr. Víctor Iván Moreno Oliva<sup>3</sup> y Ing. Jaime Peña Antonio<sup>4</sup>

**Resumen**— En óptica la técnica de pantallas nulas es empleada para corroborar posibles defectos en el diseño de una lente o un espejo. Se hace incidir un patrón de curvas sobre la superficie, y se espera observar ahora un patrón de líneas rectas, si esto sucede implica que la superficie bajo estudio no tiene imperfecciones. Ahora bien, la técnica de proyección de franjas es utilizada para reconstruir objetos en 3D, la cual consiste en un proyector, una cámara y el objeto a estudiar. Con ello surgen diversos métodos de calibración que nos dan la relación de las dimensiones del objeto y la medida de la forma en el sistema. Para su efecto, este método de calibración cualitativo nos permite diseñar el patrón de curvas para estudiar el diseño de la superficie, por ejemplo, un álabe de un aerogenerador, ya que de su diseño depende la eficiencia aerodinámica de los mismos.

**Palabras clave**—Franjas, proyección nula, calibración, álabe

### Introducción

En óptica la técnica de pantallas nulas es empleada para corroborar posibles defectos en el diseño de una lente o un espejo, utilizando las leyes de reflexión o refracción dependiendo de la superficie, ya sea cóncava o convexa. Por ejemplo, Díaz Uribe y Campos García (2000) propusieron un método de pantallas nulas para superficies esféricas convexas, que consistía en usar pantallas cilíndricas con un conjunto de líneas dibujadas sobre ella de tal manera que su imagen formada por reflexión, produce una cuadrícula cuadrada perfecta. Campos García et al (2008), realizaron una prueba rápida con una pantalla nula cilíndrica en una superficie cóncava esférica, para este caso es una pantalla con líneas curvas y de igual manera se producía una cuadrícula cuadrada perfecta y detectar imperfecciones en la superficie.

En los últimos años, la técnica de proyección de franjas para la reconstrucción de objetos 3D ha tenido un gran número de aplicaciones en diversos campos como en la industria y lo científico, Siva Gorthi y Pramod Rastogi (2010), realizaron una recopilación de los trabajos realizados con dicha técnica describiendo los procedimientos y algunas ventajas que tiene cada uno, desde la generación y proyección de los patrones sobre el objeto hasta la conversión de las coordenadas en el plano de detección (CCD).

La técnica de triangulación láser es empleada hoy en día en diversas aplicaciones, entre las cuales se encuentra la reconstrucción 3D de objetos de interés o en la medición cuantitativa de errores en la manufactura de piezas diversas. Como un método derivado de esta técnica, es posible llevar a cabo una prueba cualitativa de un objeto o pieza tridimensional, de manera rápida que nos permita establecer si un objeto tiene o no imperfecciones debido al proceso de manufactura. En este caso proponemos la técnica de proyección nula de franjas como un método cualitativo que permita establecer errores en el proceso de manufactura o diseño.

### Descripción del Método

Para realizar la prueba en la calidad de manufactura de un objeto bajo prueba usando la proyección nula de franjas, realizamos una correlación entre los píxeles de una cámara CCD y los píxeles asociados con el plano de proyección, para lo cual empleamos un proyector convencional. La correlación o correspondencia pixel a pixel se estima realizando desplazamientos de franjas en el plano de proyección para determinar los desplazamientos en el plano de la cámara, a fin de obtener una curva de calibración o un conjunto de curvas de calibración para determinar el patrón de franjas nulas.

Comenzamos por realizar la proyección de franjas en una superficie que tuviera simetría conocida, con la finalidad de encontrar la forma que debería tener nuestro patrón de franjas y esto nos brindara información acerca de las características que debería de tener. Por ejemplo, si nosotros proyectamos una franja recta en un cilindro, lo que observaríamos sería una curva, lo cual nos hace pensar que si nosotros ahora proyectamos una franja curva lo que

<sup>1</sup> La Dra. Paula Ortega Vidals se encuentra realizando una estancia Posdoctoral en la Universidad del Istmo, Campus Tehuantepec, Oaxaca, México. [paulaov.29@gmail.com](mailto:paulaov.29@gmail.com) (autor correspondiente)

<sup>2</sup> El Dr. Edwin Román Hernández es Investigador de Tiempo Completo de la Universidad del Istmo, Campus Tehuantepec, Oaxaca, México. [rohe\\_00@hotmail.com](mailto:rohe_00@hotmail.com)

<sup>3</sup> El Dr. Víctor Iván Moreno Oliva es Investigador de Tiempo Completo de la Universidad del Istmo, Campus Tehuantepec, Oaxaca, México. [vmorenofcfm@hotmail.com](mailto:vmorenofcfm@hotmail.com)

<sup>4</sup> Ing. Jaime Peña Antonio, estudiante de 4º semestre de la Maestría en Energía Eólica en la Universidad del Istmo, Campus Tehuantepec, Oaxaca, México. [jaimaguilas1234@gmail.com](mailto:jaimaguilas1234@gmail.com)

observaríamos sería una recta, es decir tendríamos una proyección de franjas nulas. El tipo de curva que se debería de proyectar debería de ser una elipse, la cual debe tener ciertas dimensiones, que al proyectarse se vea una recta. Con esto esperamos establecer la correlación que habría entre los pixeles de proyección y los pixeles de la cámara, de forma cualitativa. A continuación, describimos el procedimiento que realizamos para diseñar el patrón de franjas.

### *Montaje experimental*

Nuestro montaje experimental consta de; un proyector, nuestro objeto bajo prueba que en este caso es un cilindro y una cámara CCD. Creamos una imagen digital, de 1920 pixeles x 1800 pixeles, la cual es la resolución que tiene nuestro proyector, en el centro colocamos una franja la cual en su centro colocamos un cuadro rojo como referencia, ya que al realizar los desplazamientos determinemos la nueva ubicación de este, de igual manera colocamos dos cuadros de color verde en los extremos. En la Figura 1, observamos nuestro montaje experimental, en donde la cámara está colocada a  $45^\circ$ .

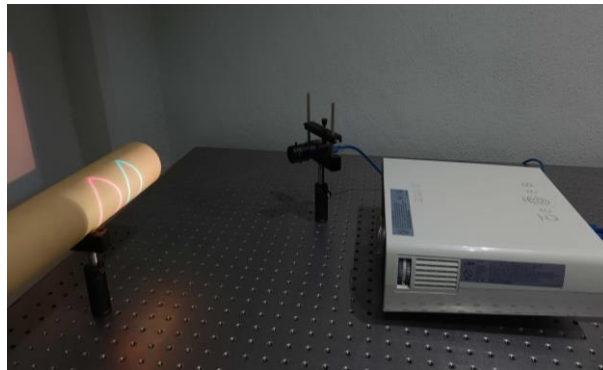


Figura 1. Montaje experimental

### *Diseño de franjas*

Una vez que nuestro sistema está alineado procedemos a realizar nuestras mediciones, se construye una franja que tiene 10 pixeles de ancho x 750 pixeles de largo, la cual en el centro tiene un cuadro de color rojo que nos sirve de referencia y en los extremos tenemos cuadros de color verde que nos ayudara a identificar la nueva posición, al realizar los desplazamientos, el desplazamiento lo hicimos hacia la derecha. Y de esta forma determinamos la separación que habría entre las franjas, ya que a la izquierda colocamos el mismo ancho, como se observa en la figura 2. De esta manera construimos cualitativamente el tamaño que debería de tener la elipse.

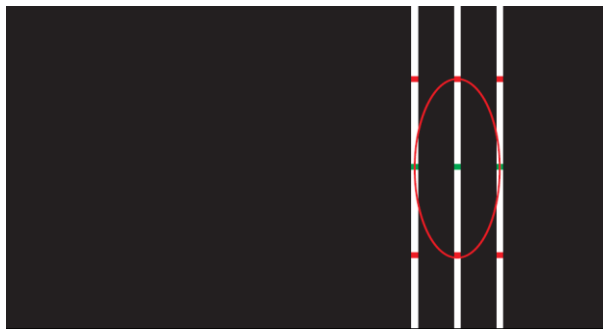


Figura 2. La separación de franjas es determinada por los cuadros de color verde, así como el ancho de la elipse, mientras que los de color rojo nos determina el largo de esta.

### *Proyección de patrón*

Analizamos tres posiciones de la franja, de tal forma que abarca la mayor parte del cilindro, para observar el comportamiento que tenían las franjas. Por la posición de la cámara, observamos que un lado de la elipse en efecto se observa recto mientras que el otro extremo se observa curvo. Ahora para obtener las siguientes franjas, realizamos el mismo procedimiento es decir colocamos en cualquier posición la franja con los cuadros de color verde y rojo, haciendo el desplazamiento a la derecha y con ello determinar el nuevo ancho de la elipse. Ya que por la perspectiva

que observa la cámara el tamaño de la elipse es diferente; es decir el lado del cilindro que esta más cerca de la cámara vera una elipse de un ancho menor mientras que la que esta lejos observara una elipse más ancha.

En la Figura 3, a) observamos los diferentes tamaños de la elipse que construimos en donde en efecto los ancho fueron diferentes mientras el largo se conservó, la de color rojo es la que se encuentra cerca de la posición de la cámara mientras que la de color rosa se encuentra en una posición más lejana a ella, en el inciso b) se observa la proyección de estas elipses en donde se puede apreciar que un lado es una línea recta mientras que el otro extremo se ve una curva.

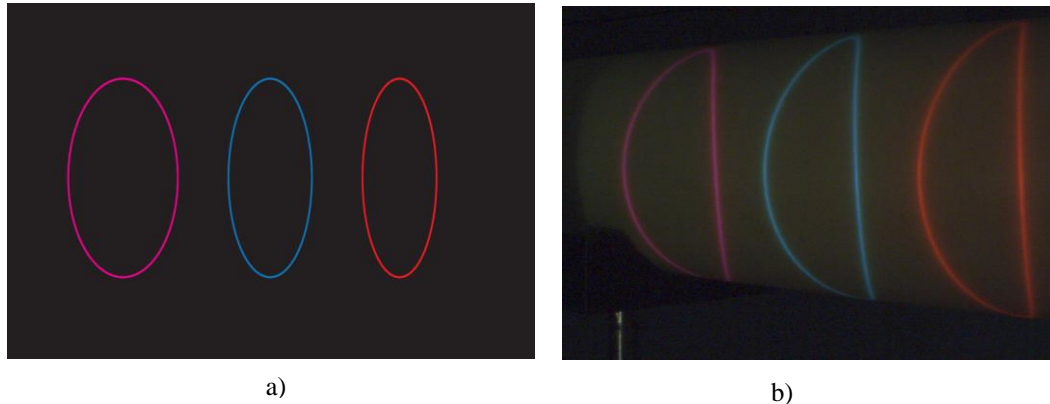


Figura 3. a) construcción de las elipses de diferentes tamaños y en b) la proyección de dichas elipses.

Si nosotros, solo proyectamos el lado izquierdo de cada una de las elipses lo que observaríamos sería en efecto líneas rectas, como se muestra a continuación en la Figura 4. En el inciso a) tenemos las mismas elipses que construimos en la Figura 3 a), ocultando la parte que no se observa recta y en el inciso b) podemos apreciar como se ven rectas. De esta manera hemos construido un patrón de franjas nulas.

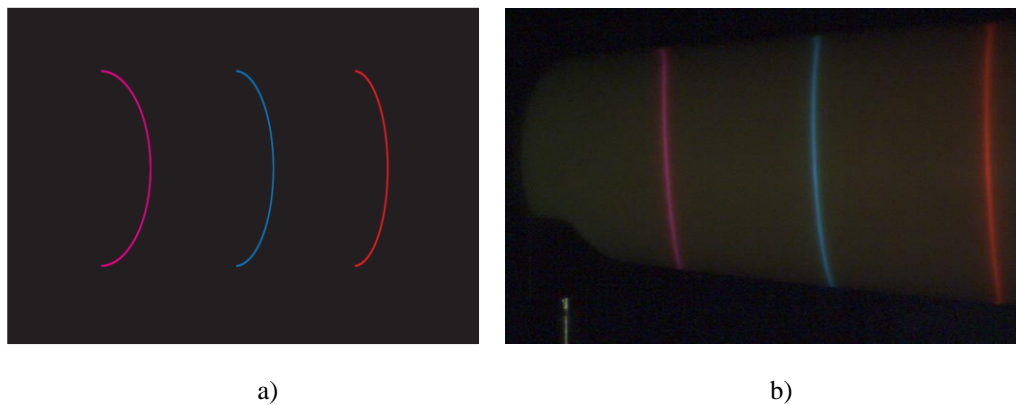


Figura 4. Tenemos nuestro patrón de franjas nulas: a) lado izquierdo elipses y b) la proyección.

En la primera columna de la Tabla 1, presentamos las posiciones en donde está colocado el centro de nuestro perfil, es decir la franja central como mencionamos en la Figura 1, la primera posición corresponde a la que se encuentra lejos de la posición de la cámara, mientras que en la segunda columna podemos apreciar las dimensiones que tiene el perfil. Como se aprecia si hay cambios de ancho del perfil.

Tabla 1. Tamaño de la elipse diseñada y el tamaño de la elipse proyectada.

Posición de perfil (pixel)	Medidas de perfil (pixel)
230 x 300	210 x 328
512 x 300	160 x 328
760 x 300	142 x 328

### *Análisis de resultados*

Con los resultados obtenidos esperamos poder encontrar la correlación de los pixeles de la cámara con los pixeles del proyector, siendo así un método de calibración cualitativa. En donde la construcción de este perfil de curvas al ser proyectado se observan rectas, intuyendo que nuestro objeto bajo prueba no tiene imperfecciones.

### **Comentarios Finales**

#### *Resumen de resultados*

En este trabajo investigativo se propuso un nuevo método de calibración cualitativo, el cual determina la correlación que existe entre los pixeles de la cámara y los pixeles del proyector. Donde corroboramos que en nuestro objeto bajo prueba al proyectar un patrón de curvas lo que observamos ahora es un patrón de líneas rectas, con lo que corroboramos de igual manera no existe imperfecciones en ello.

#### *Conclusiones*

La propuesta de nuestro método cualitativo tiene la ventaja de ser de rápida interpretación, lo que permite detectar imperfecciones en la manufactura de un objeto bajo prueba. Es un método novedoso en donde se emplea técnicas utilizadas en el diseño de superficies ópticas, como la proyección de franjas nulas. Se espera que este método se pueda generalizar a cualquier superficie.

#### *Recomendaciones*

En un trabajo a futuro se espera que este método nos ayude establecer la correlación de los pixeles pero de manera cuantitativa, y con ello poder aplicarlo a otras superficies, para proponer ajustes en el proceso de manufactura o diseño. Ya que estamos interesados en el diseño de alabes de aerogeneradores de pequeña potencia.

### **Referencias**

- Siva Gorthi y Pramod Rastogi. "Fringe Projection Techniques: Whither we are?," *Optics and Laser in Engiering* , Vol. 48, No. 2, 2010.
- R. Díaz Uribe y M. Campos García. "Null-screen testing of fast convex aspheric surfaces," *Applied Optics.*, Vol. 39, No. 16, 2000.
- M. Campos García, R. Bolado Gómez, y R. Díaz Uribe. "Testing fast aspheric concave surface with a cylindrical null screen," *Appied Optics.*, Vol. 47, No. 6, 2008.

### **Notas Biográficas**

La **Dra. Paula Ortega Vidals** se encuentra realizando una estancia de Posdoctorado en la Universidad del Istmo, Campus Tehuantepec, en el Estado de Oaxaca. Realizo sus estudios de Licenciatura, Maestría y Doctorado en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, en área de Óptica Aplicada. Ha tenido la participación en alrededor de 12 artículos en revistas de nivel internacional y de alto impacto, y uno como primer autor.

El **Dr. Edwin Román Hernández** es Director del Instituto de Estudios de Energía en la Universidad del Istmo desde septiembre del año 2019. Esta adscrito a la División de Estudios de Posgrado y su línea de investigación es Óptica Aplicada a dispositivos renovables.

El **Dr. Víctor Iván Moreno Oliva** es Jefe de la División de Estudios de Posgrado de la Universidad de Istmo. Pertenecer al Sistema Nacional de Investigadores| (SIN) Nivel 1. Línea de investigación es Óptica Aplicada a dispositivos renovables.

El **Ing. Jaime Peña Antonio** es Ingeniero Mecánico, egresado del Instituto Tecnológico de Salina Cruz. Con un enfoque al Mantenimiento industrial, coautor del artículo "Determination of Favourable Conditions for Profitability a Off-Shore Wind Farm in Mexico" presentado en IEEE 39th Central America and Panama Convention (CONCAPAN XXXIX). Actualmente cursa el cuarto semestre de la Maestría en Ciencias en Energía Eólica, con especialidad en reconstrucción de perfiles aerodinámicos utilizando la técnica de proyección de franjas en la Universidad del Istmo Campus Tehuantepec.

# Desarrollo de un Alimento Balanceado para Lechones Destetados con un Reemplazo del 100% de Pasta de Soya por Harina de Larva *Hermetia Illucens* como Aporte Proteico

Alonso Ortiz Luviano<sup>1</sup>, M. en C. Benito Parra Pacheco<sup>2</sup>,  
M. en C. Hugo Gonzales Lara<sup>3</sup>, Dr. Juan Fernando García Trejo<sup>4</sup>

**Resumen**—Los lechones son destetados de forma abrupta, debido a eso presentan una reducción en el consumo de alimento y de la ganancia de peso. Durante esta etapa se busca incluir ingredientes de alto valor nutrimental en la alimentación, dentro de los ingredientes más utilizados se encuentra la harina de soya como ingrediente proteico. Por otro lado, los insectos se han presentado como una fuente de alto valor nutricional para la alimentación de animales de producción, debido a alto contenido de proteína y grasa. Según los resultados obtenidos en este trabajo se lograron elaborar dos dietas experimentales capaces de sustituir en un 100% la pasta de soya por larva de mosca *Hermetia Illucens*.

**Palabras clave**—Porcicultura, nutrición animal, proteína sustentable, *Hermetia Illucens*.

## Introducción

Nos encontramos ante un aumento de demanda de proteína de origen animal. La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), pronostican un aumento del 13% desde el 2021 hasta el 2030 en la porcicultura, lo que representa una producción de 127 Mt de carne de cerdo. En el mundo, la superficie destinada a la agricultura es de aproximadamente el 38% de toda la superficie de la Tierra y solo 1/3 de esta superficie se utiliza como tierras de cultivo de consumo directo; el resto se utiliza para la alimentación en la ganadería (OECD/FAO, 2021).

El destete es el proceso en el cual una cría transición progresivamente de una alimentación láctea proveniente de la madre a una alimentación sólida. En la actualidad por motivos de eficacia en la producción porcina se utiliza con mayor frecuencia el destete precoz, el lechón es separado de la cerda cuando tiene entre 21 a 28 días de vida (Campabadal, 2009). Al ser separados de forma abrupta de su madre, colocados en un nuevo alojamiento desconocido sumado a una nueva fuente de alimento totalmente desconocida ocasiona una considerable disminución en la ingesta de nutrientes durante varios días. Esto repercute de forma negativa en la termorregulación, el desarrollo morfológico y fisiológico del tracto gastrointestinal ocasionado susceptibilidad a enfermedades, reducción de ganancia de peso y mortalidad (Hötzel, de Souza et al. 2011). Específicamente en el lechón hay un efecto anti nutricional en el uso de la harina de soya por lo que se limita en su utilización en un 20% según la Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA, 2019). Mejorar la eficiencia alimenticia es una estrategia para mejorar el desempeño de la unidad de producción (Atsbeha, Flaten et al. 2020)

Por otro lado los insectos representan una alternativa viable para reemplazar el uso de harina de soya y de pescado para ser utilizados como fuente de proteína sustentable dentro de las dietas para animales Dentro de han presentado mayor interés se encuentra la larva de mosca soldado negra *Hermetia Illucens* debido a su rápido ciclo de vida, gran capacidad para procesar residuos orgánicos, su composición nutrimental y una buena calidad de perfil de aminoácidos en comparación con la harina de soya y otras harina de origen animal (Hong and Kim 2022). Investigaciones previas arrojan un panorama positivo para la implementación de harina de larva de mosca soldado negra como sustituto de harina de soya o harina de origen animal en la dieta de lechones de destete, dentro de estas investigaciones utilizado un reemplazo parcial de harina de larva *Hermetia Illucens* por harina de soya no tuvo ningún impacto negativo sobre el peso final, el consumo diario de alimento o la conversión alimenticia, de hecho se observó un incremento en la relación consumo de alimento y ganancia de peso. (Biasato, Renna et al. 2019, Crosbie, Zhu et al. 2021). Es por esto que el propósito de este trabajo es desarrollar un alimento balanceado con una sustitución del 100% de soya para lechón postdestete a partir de mosca soldado-negra que sea capaz de cubrir las necesidades energéticas y nutrimentales durante la fase postdestete del lechón.

<sup>1</sup> Alonso Ortiz Luviano [aortizluviano@gmail.com](mailto:aortizluviano@gmail.com) (autor corresponsal)

<sup>2</sup> El maestro en Ciencias Benito Parra Pacheco Biólogo egresado de la Universidad Autónoma de Querétaro con Maestría en Ingeniería en Biosistemas por la misma Universidad. [benito.parra@uaq.mx](mailto:benito.parra@uaq.mx)

<sup>3</sup> El maestro en Ciencias Hugo Gonzales Lara Ingeniero Civil egresado de la Universidad Autónoma de Querétaro con Maestría en Ingeniería en Biosistemas por la misma Universidad. [glarahugo@hotmail.com](mailto:glarahugo@hotmail.com)

<sup>4</sup> El Doctor Juan Fernando García Trejo Biólogo egresado de la Universidad Autónoma de Querétaro con Doctorado en Ingeniería por la misma Universidad. [fernando.garcia@uaq.mx](mailto:fernando.garcia@uaq.mx)

## Metodología

### Procedimiento

La primera etapa en este proyecto fue la obtención y caracterización de los componentes nutricionales de las diferentes harinas que conformaron el alimento balanceado. Con base en los resultados de laboratorio de bromatología, se hizo la formulación y balanceo de nutrientes de los insumos seleccionados, se obtuvieron 3 alimentos experimentales. Los alimentos fueron formulados para tener el mismo aporte proteico y energético, 18% y 3.90 Mcal/kg respectivamente. Alimento 2 y 3 tuvieron como fuente de aporte proteico harina de larva de mosca soldado en dos diferentes formas, harina entera y harina desgrasada respectivamente. Alimento 1 tuvo como aporte proteico pasta de soya.

Primeramente, se analizó la harina de larva de mosca soldado, los resultados se muestran en el Cuadro 1. En donde se puede observar su proximidad de nutrientes y su perfil de aminoácidos adecuado para ser considerada como una posible fuente proteica dentro de un alimento para lechones.

		Pasta de Soya	Harina de Mosca Soldado	Método
	Unidad			
Materia Seca	%	88.0	90.25	
Proteína Cruda	%	44.0	45.91	A.O.A.C. Official Method 2001.11 (2005), 18th Edition.
Grasa	%	1.9	32.76	AOCS Official procedure Am 5-04(2010) Ankom Technology
Fibra Cruda	%	5.9	6.47	AOCS Aproved Procedure Ba 6a-05Fiber (2008). Ankom Technology Method 7
Cenizas	%	6.2	13.53	A.O.A.C Official Method 942.05 (1996), 16th Edicion.
Lys	%	2.68	2.34	INS-SM/US260
Met	%	0.59	0.015	INS-SM/US260
Met+Cys	%	1.25	0.027	INS-SM/US260
Thr	%	1.72	2.37	INS-SM/US260
Trp	%	0.57	0.119	INS-SM/US260
Ile	%	1.96	3.60	INS-SM/US260
Val	%	2.07	4.73	INS-SM/US260
Arg	%	3.18	3.5	INS-SM/US260

Cuadro 1. Composición nutricional y perfil de aminoácidos de la pasta de soya y harina de mosca soldado

## Resultados

Con base a los resultados anteriores se formularon las 3 dietas experimentales y de la misma manera se llevaron a cabo los análisis bromatológicos. Los resultados se muestran en el Cuadro 2.

	Humedad %	Materia seca %	Cenizas %	Proteína Bruta %	Extracto Etéreo %	Energía Bruta Kcal/kg
Alimento 1	9.7	90.3	8.59	18.58	4.98	3,867
Alimento 2	9.51	90.49	9.67	18.67	8.22	3,996
Alimento 3	9.46	90.54	9.20	18.60	5.05	3,870
Método			A.O.A.C.Official Method942.05(1996), 16thEdicion	A.O.A.C.Official Method2001.11(2005), 18thEdition.	AOCS.Official procedureAm5-04 (2010),AnkomTechnology	

Cuadro 2. Análisis proximal de los 3 Alimentos elaborados.

Como se puede observar en el Cuadro 2 los 3 Alimentos experimentales son isoproteicos con un contenido de 18.6% de proteína. La cantidad de cenizas en el Alimento 2 y 3 es más elevado que en el Alimento 1, esto debido a la composición de la harina de larva. De la misma manera el Alimento 2 tiene un incremento en el aporte de grasa debido a que este presenta la adición de harina de larva completa en contraparte con el Alimento 3 al cual se le incorporó la harina de larva desgrasada por lo que los niveles de grasa no tienen mayor diferencia al Alimento 1 el cual se utiliza como control. El Alimento 2 al tener un mayor aporte de grasa también tiene un incremento en el aporte energético.

### Conclusiones

Con los resultados obtenidos en este trabajo creemos que es posible obtener un alimento balanceado a partir de harina de mosca soldado como aporte proteico que pueda sustituir 100% el uso de la pasta de soya dentro de la alimentación de lechones post-destete. La búsqueda de nuevos ingredientes que puedan sustituir y reducir el uso de insumos altamente explotados con un gran impacto medioambiental es de suma importancia para la industria agropecuaria. Creemos que el futuro de la industria pecuaria es establecer una relación entre las nuevas tecnologías de ingeniería, los avances en la nutrición animal y visión ética con el bienestar animal y el medioambiente.

### Recomendaciones

Los investigadores interesados en continuar nuestra investigación se recomienda elaborar un experimento *in vivo* donde se pueda probar la digestibilidad de los nutrientes aportados por la larva de mosca soldado sobre los lechones destetados.

### Referencias

Atsbeha, D. M., Flaten, O., Olsen, H. F., Kjos, N. P., Kidane, A., Skugor, A., Prestløyken, E., & Øverland, M. (2020). Technical and economic performance of alternative feeds in dairy and pig production. *Livestock Science*, 240, 104123.

Biasato I, Renna M, Gai F, Dabbou S, Meneguz M, Perona G, Martínez S, Lajusticia ACB, Bergagna S, Sardi L, Capucchio MT, Bressan E, Dama A, Schiavone A, Gasco L. Partially defatted black soldier fly larva meal inclusion in piglet diets: effects on the growth performance, nutrient digestibility, blood profile, gut morphology and histological features. *J Anim Sci Biotechnol*. 2019 Feb 19;10:12. doi: 10.1186/s40104-019-0325-x. PMID: 30820321; PMCID: PMC6379995.

Campabadal C. 2009. Guía técnica para alimentación de cerdos. Costa Rica: Ministerio de Agricultura y Ganadería, Sistema Unificado de Información Institucional.

Crosbie M, Zhu C, Karrow NA, Huber LA. The effects of partially replacing animal protein sources with full fat black soldier fly larvae meal (*Hermetia illucens*) in nursery diets on growth performance, gut morphology, and immune response of pigs. *Transl Anim Sci*. 2021 Mar 20;5(2):txab057. doi: 10.1093/tas/txab057. PMID: 34179700; PMCID: PMC8221453.

Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos (4ª edición). C. de Blas, P. García-Rebollar, M. Gorrachategui y G.G. Mateos. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Noviembre, 2019. Madrid. 604 pp. ISBN: 978-8409156887

Hong J, Kim YY. Insect as feed ingredients for pigs. *Anim Biosci*. 2022 Feb;35(2):347-355. doi: 10.5713/ab.21.0475. Epub 2022 Jan 4. PMID: 34991213; PMCID: PMC8831829.

Hötzel, M. J., de Souza, G. P., Dalla Costa, O. A., & Machado Filho, L. C. P. (2011). Disentangling the effects of weaning stressors on piglets' behaviour and feed intake: Changing the housing and social environment. *Applied Animal Behaviour Science*, 135(1-2), 44-50.

OECD/FAO (2021), OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2021-2030, OECD Publishing, Paris.



## Bacterias Halófilas como Biorremediadores de Suelos Salinos

Ana Karen Pérez-Bohórquez<sup>1</sup>, Gisela Margarita Santiago-Martínez<sup>2</sup>, Alfonso Vázquez-López<sup>3</sup>, Carlos I. Cortés-Martínez<sup>4</sup>, Ernesto Castañeda-Hidalgo<sup>2</sup>, Gerardo Rodríguez-Ortiz

**Resumen:** Esta revisión recopila y analiza los resultados científicos y tecnológicos de los últimos 20 años para la aplicación de bacterias halófilas como biorremediadores de suelos agrícolas salinos. Se presentan cuatro trabajos de los cuales dos son patentes. Se describen el método de aplicación, temperatura y tiempo de siembra del inóculo y en su caso las especies que mostraron significancia. Para esta revisión se consideraron solo artículos autorizados.

De acuerdo con los trabajos realizados las bacterias halófilas son potenciales para la biorremediación de suelos.

**Palabras clave:** Bacterias halófilas, salinidad, suelos.

### Introducción

La salinidad del suelo es un problema que afecta la productividad agrícola. Hasta el año 2021, 833 millones de ha de suelos afectados son por esta condición en todo el mundo (Omuto *et al.*, 2021)

Los microorganismos halófilos poseen características distintivas como bajos requerimientos nutricionales y resistencia a altas concentraciones de sal, con capacidad de equilibrar la presión osmótica del ambiente, estos microorganismos son aeróbicos, pero también hay anaeróbicos. Los microorganismos halófilos son representados principalmente por bacterias y arqueas. Estos microorganismos se distribuyen en todo el mundo, específicamente en ambientes hipersalinos (Trüper *et al.*, 1991).

### Materiales y métodos

La búsqueda de información se realizó en bases de datos bibliográficas de resúmenes y citas de artículos de revistas científicas, como Scopus, Scielo y Redalyc. La búsqueda bibliográfica se realizó en el período de septiembre a octubre del 2022, utilizando descriptores como: halophiles, bacterias halófilas, extremófilos, etc. Los registros oscilaron entre 34 y 50 documentos. Al igual se realizó una búsqueda en Google académico y Google patents. Se seleccionaron aquellos documentos que brindaran información específica de las bacterias halófilas como su estructura, clasificación y aplicaciones. La estructura de la información se realizó tomando en cuenta el tipo de documento ya sea artículo científico o patente.

### Resultados y discusión

Tabla 1. Bacterias halófilas aplicadas como desalinizadoras de suelos. Reportadas en artículos científicos.

---

<sup>1</sup>, <sup>2</sup>Estudiante, investigador, Tecnológico Nacional de México (TecNM) campus Valle de Oaxaca (ITVO). División de estudios de posgrado e investigación. Ex hacienda de Nazareno Xoxocotlán, Oaxaca, México. C.P. 71233. (<https://orcid.org/0000-0002-9202-6317>, <https://orcid.org/0000-0002-0064-7010>, <https://orcid.org/0000-0001-9296-1439>, <https://orcid.org/0000-0003-0963-8046>)<sup>3</sup>Instituto Politécnico Nacional, CIDIIR Unidad Oaxaca, Noche Buena, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México (0000-0003-1050-5486),<sup>4</sup> TecNM campus Valle de Etla (ITVE), Agua Buena, Santiago Suchilquitongo, Oaxaca, C.P. 68230 (<https://orcid.org/0000-0003-1328-3372>). Autor para correspondencia: ([halofungi.2021@gmail.com](mailto:halofungi.2021@gmail.com))

Tabla 1. Bacterias halófilas aplicadas como desalinizadoras de suelos. Reportadas en artículos científicos.

Siembra	Aplicación				Especies	Resultados		Referencia	
	Medio	% de Sodio	T (°C)	t(h)		CA	FA		parámetros iniciales
Caldo nutritivo	3	35.5	24	1.2 x 10 <sup>8</sup> ufc/100 ml	Caldo nutritivo	<i>Vibrio alginolyticus</i>	Na (%) 5.65	Na (%) 5.26	Sanchez y Arguello (2016)
						<i>Vibrio metschnikovii</i>	4.47	3.8	
						<i>Flavimonas oryzae</i>	5.74	3.12	
						Cepa	CE Inicial	CE Final	
Agar nutritivo	1.5	37	24	108 UFC/ml	Caldo nutritivo	cepa 1	5.2	0.8	Rodríguez et al. (2019)
						cepa 2	5.2	0.7	
						cepa 3	5.2	0.8	
						cepa 4	5.2	0.6	
						cepa 5	5.2	0.7	
						cepa 6	5.2	0.7	

T=Temperatura, t=tiempo, CA=concentración de aplicación, A=forma de aplicación.

Tabla 2. Bacterias halófilas aplicadas como desalinizadoras de suelos que han sido reportadas en patentes.

Autor	Año	País	Título de la patente	Cultivo			Aplicación	
				Medio	Temperatura (°C)	Tiempo(h)	Forma de aplicación	Especie
罗卫国陈庆辉孙雪林	2014	China	Método de cotratamiento para la salinización del suelo.	-	-	-	Polvo en conjunto con otros componentes	
庄丽向本春胡文革李鲁华张伟李俊华王俊刚	2010	China	Método de tratamiento microbiano para la mejora de suelos salinos utilizando bacterias halófilas	solución nutritiva LB	36.5-37.5	11.5-12.5	Masa bacteriana	<i>Zymomonas mobilis</i>

Sánchez y Arguello (2016) indican que para el crecimiento óptimo de los microorganismos utilizó medio de cultivo nutritivo y lo incubó a 35.5° C durante 24 h previo a la inoculación, mientras que Rodríguez *et al.*, 2019 utilizaron agar nutritivo como medio de cultivo y se incubó a 37 °C durante 24 h. En ambos trabajos se obtuvieron crecimientos satisfactorios, por lo que estos parámetros varían de acuerdo con el tipo de bacterias halófilas que se estén empleando, es decir, si son halófilas moderadas o extremas. En cuanto al método de aplicación, ambos autores inocularon sus respectivos microorganismos como suspensiones en caldo. Las inoculaciones se realizaron con diferentes concentraciones, lo que claramente influye en los resultados presentados en cada estudio.

Sánchez y Arguello (2006) demostraron que las bacterias halófilas son capaces capturar iones de sodio en un 7 %. En este estudio destacan tres especies que son potenciales para la biorremediación de suelos *Vibrio alginolyticus*, *Vibrio metschnikovii* y *Flavimonas oryzae* (Figura 1). En este estudio, tomaron como variables la concentración de Na inicial y final.

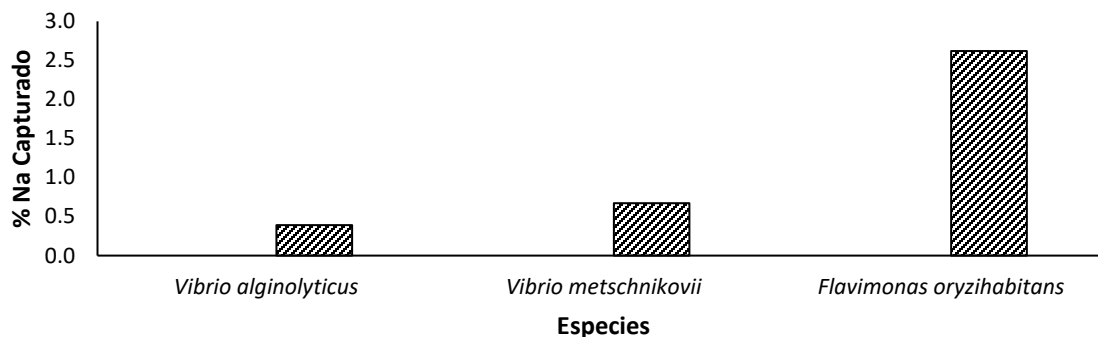


Figura 1. Porcentaje de sodio capturado clasificado por especie de bacteria halofila.

El estudio de Rodríguez *et al* fue realizado *in vitro*, en el cual la variable a medir fue la conductividad eléctrica del suelo. En este estudio, no fueron identificadas las especies. En los tratamientos las cepas fueron identificadas como: 1, 2, 3, 4, 5 y 6. La cepa 4 fue la más sobresaliente porque logra disminuir la CE de 5.2 a 0.6 dS m<sup>-1</sup> (Figura 2).

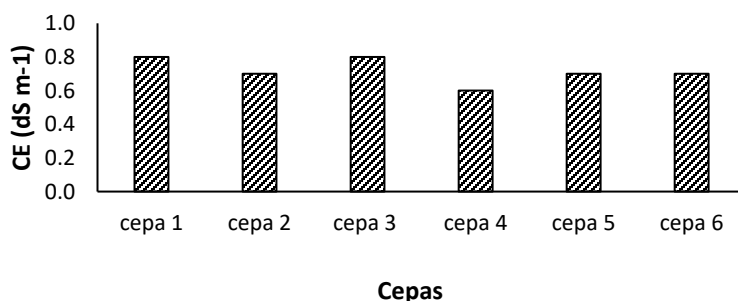


Figura 2. Conductividad eléctrica (CE) de suelos salinos por efecto de la inoculación de seis cepas de bacteria halofilas.

En cuanto a las patentes registradas (庄丽向本春胡文革李鲁华张伟李俊华王俊刚, 2010; 罗卫国陈庆辉孙雪林, 2014) ninguna ofrece información acerca de las condiciones de incubación y no reporta resultados en pruebas de viabilidad del experimento. La forma de aplicación varía, ya que Zhuang *et al.* aplican masa bacteriana centrifugada sobre el suelo y Luo *et al.* aplican en forma de polvo en sinergia con otros componentes. Si bien estos procedimientos pueden favorecer el mecanismo de acción de las bacterias halófilas, no se pueden discutir los resultados por la falta de datos experimentales.

### Conclusión

Las bacterias halófilas son microorganismos potenciales para la biorremediación de suelos. Se recomienda que los trabajos que se realicen se justifiquen en base a resultados y es sumamente importante conocer la especie con la que estamos tratando

### Literatura Consultada

- Aguilar Santelises, A., Etchevers Barra, J. D., & Castellanos Ramos, J. Z. 1987. *Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo*. In *Simposio Nacional sobre Análisis Químico para Evaluar la Fertilidad del Suelo*.
- Alsafadi, D., Khalili, F. I., Juwhari, H., & Lahlouh, B. 2018. Purification and biochemical characterization of photo-active membrane protein bacteriorhodopsin from Haloarcula marismortui, an extreme halophile from the Dead Sea. *International Journal of Biological Macromolecules*, 118, 1942–1947. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.07.045>
- Amoozegar, M. A., Siroosi, M., Atashgahi, S., Smidt, H., & Ventosa, A. 2017. Systematics of haloarchaea and biotechnological potential of their hydrolytic enzymes. *Microbiology*, 163(5), 623–645. <https://doi.org/10.1099/mic.0.000463>
- Aristizabal, R., Carolina, N., Mora, H., Wilson, D., & Corredor, S. 2019. Bacterias halófilas con potencial para la recuperación de suelos salinizados en Sáchica-Boyacá, Colombia. In *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN (Vol. 67, Issue 3)*.
- Courel, G. F. 2019. Guía de estudio suelos salinos y sódicos. *Inst. Universidad de Tucumán, Facultad de Agronomía y Zootecnia*, 89.
- Daoud, L., & ben Ali, M. 2020. Halophilic microorganisms: Interesting group of extremophiles with important applications in biotechnology and environment. In *Physiological and Biotechnological Aspects of Extremophiles* (pp. 51–64). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818322-9.00005-8>

- de la Haba RR, Sánchez-Porro C, Márquez MC, & Ventosa V. 2010. *Taxonomy of halophiles* (Horikoshi K, Antranikian G, Bull A, Robb F, & Stetter K, Eds.; Springer-Verlag).
- Dennis, P. P., & Shimmin, L. C. 1997. Evolutionary divergence and salinity-mediated selection in halophilic archaea. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 61(1), 90–104. <https://doi.org/10.1128/mubr.61.1.90-104.1997>
- Dutta, B., & Bandopadhyay, R. 2022. Biotechnological potentials of halophilic microorganisms and their impact on mankind. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 11(1), 75. <https://doi.org/10.1186/s43088-022-00252-w>
- Elazari-Volcani, B. 1943. A Dimastigamoeba in the Bed of the Dead Sea. *Nature*, 152(3854), 301–302. <https://doi.org/10.1038/152301a0>
- Elazari-Volcani, B. 1944. A Ciliate from the Dead Sea. *Nature*, 154(3906), 335–335. <https://doi.org/10.1038/154335a0>