

FEBRERO 22 - 24, 2023

MATEMÁTICAS Y CIENCIAS EXACTAS PARA LA INNOVACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO SOSTENIBLE

TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN DEL CONGRESO
INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN ACADEMIA
JOURNALS PUEBLA TECNM 2023

Ingeniería para la Innovación y Desarrollo Tecnológico Sostenible

ELIBRO CON ISBN ONLINE 978-1-939982-93-3

CONGRESO
INTERNACIONAL DE INVESTIGACION
ACADEMIA JOURNALS
PUEBLA TECNM
INGENIERÍA PARA LA INNOVACIÓN Y
DESARROLLO TECNOLÓGICO SOSTENIBLE

Título del Libro Electrónico: *Matemáticas y Ciencias Exactas para la Innovación y Desarrollo Tecnológico Sostenible*

ISBN 978-1-939982-93-3 online*

Este libro electrónico (e-book) contiene la colección de los trabajos de investigación presentados en el área de *educación* en el Congreso Internacional de Investigación Academia Journals Puebla TecNM, *Ingeniería para la Innovación y Desarrollo Tecnológico Sostenible*, que fuera organizado los días 22, 23, y 24 de febrero de 2023 por Academia Journals en colaboración con el Instituto Tecnológico de Puebla y Servicios Estratégicos para Investigación y Postgrado (PYSEIP).

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)

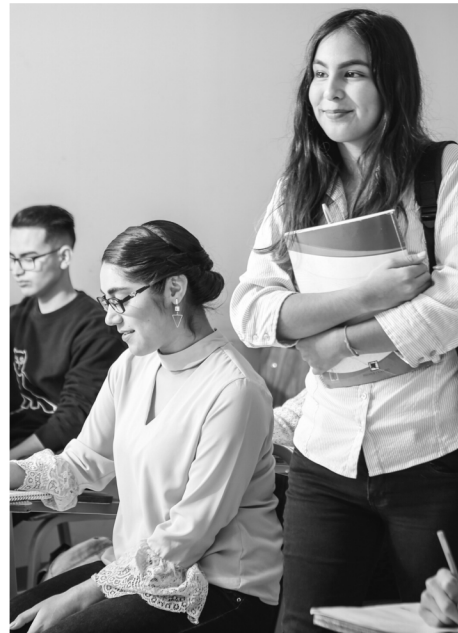
DISEÑO Y PUBLICIDAD

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.



Paper	Título	Autores	Primer Autor	Página
ITP025	Crecimiento de Albahaca (<i>Ocimum basilicum</i> L.) con Relación a la Nutrición Química	Dr. Cid Aguilar Carpio Dr. Porfirio Juárez López MC. Adriana Pérez Ramírez Dr. José Alberto Salvador Escalante Estrada	Aguilar Carpio	1
ITP120	Síntesis Sostenible de Compuestos Orgánicos: Evaluación Ecoescala	M.C. Erika Alarcón Matus Dra. Nancy Romero Ceronio Dr. Cuauhtémoc Alvarado Dr. Luis Fernando Roa de la Fuente Dr. Joel L.Terán Dr. Abraham Gómez Rivera Dr. Carlos Ernesto Lobato García	Alarcón Matus	6
ITP054	Efecto de la Formación de Plasma sobre la Reflexión de Luz Láser en la Ablación de Metales	Dra. Olena Benavides Dr. Aarón Flores Gil Dr. Lelio de la Cruz May	Benavides Zadorozhna	11
ITP265	Fertilización de <i>Lisianthus</i> (<i>Eustoma grandiflorum</i> (raf.) shriners) bajo Condiciones de Invernadero	Jorge Luis Chi Pérez Dr. Eduardo Villanueva Couoh Dr. Oscar Antonio Palma Gamboa Ing. Geovanny Ayora Ricalde Ing. Martha Rocío Ceballos Hernández	Chi Pérez	17
ITP189	Zinc-Exchanged LTA Zeolite for the Conversion of Benzene to Phenol	Jesús Isaías De León Ramírez Víctor Alfredo Reyes Villegas Vitalii Petranovski Pavlovish Fernando Chávez Rivas Rosario Isidro Yocupicio Gaxiola Verónica González Torres	De Leon Ramirez	22

Paper	Título	Autores	Primer Autor	Página
ITP073	Matrices Capturantes de Moringa (<i>Moringa oleífera</i>) de Sobrepasso en el Crecimiento de Corderos Destetados	MPA. José Alfonso López García Dra. Julieta Grajales Conesa Dr. Víctor Jesús Albores Flores Dr. Eduardo Lozano Guzmán MB. María Guadalupe De Gyves Córdova Dr. Rodolfo Torres de los Santos	López García	28
ITP117	Supervivencia de Macrófitas (<i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Pistia stratiotes</i>) Expuestas en Lixiviado de un Relleno Sanitario	Ing. Gisela Edith Martínez Santiago Dra. Paula Zúñiga Ruíz Dr. Irving David Pérez Landa Dra. Isabel Araceli Amaro Espejo	Martínez Santiago	32
ITP135	Síntesis, Caracterización y Actividad Antimicrobiana de Nanopartículas de Plata Sintetizadas a Partir de Bagazo de Zapote Amarillo (<i>Pouteria Campechiana</i>)	Est. Jonathan Daniel Moreno Delgadillo Lic. Lenin Rodolfo Díaz Corona Lic. Dulce María Romero García Dr. Gilberto Velázquez Juárez Dra. Alma Hortensia Martínez-Preciado Dra. María Esther Macías Rodríguez Dr. Diego Alberto Lomelí-Rosales	Moreno Delgadillo	38
ITP248	Efectos de la Inoculación de Micorriza sobre Triticale (<i>Triticosecale Wittmack</i>)	Est. Maricela Puga Pérez M. en C. Feliciano Luna Muñoz M.E.C. Juan Manuel Esparza Gómez	Puga Pérez	43
ITP191	Propiedades Catalíticas de Zeolita Y Modificada con Hierro por Ultrasonido: Oxidación Parcial de Benceno a Fenol	MCS. Victor Alfredo Reyes Villegas MCS. Jesús Isaías de León Ramírez Dr. Sergio Pérez Sicairos MSP. José Román Chávez Méndez Dr. Miguel Ángel Hernández Espinosa Dr. Vitalii Petranovskii Pavlovish	Reyes Villegas	48

Paper	Título	Autores	Primer Autor	Página
ITP180	Cadena de Suministro de Dos Escalones en la Industria Petrolera	Estudiante Jairo Sanluis Cervantes Dra. Araceli López y López	Sanluis Cervantes	54
ITP127	Transferencia Efectiva de Aprendizajes al Contexto Rural	Dra. Gabriela Suárez Franco Dra. Angela Susana Vázquez Pérez Dr. José Luis Suárez Franco	Suárez Franco	60
ITP114	Investigación de Operaciones como Herramienta en la Resolución de Casos de Uso	Dra. María del Consuelo Patricia Torres Falcón Dra. Alondra Anahí Ortíz Verdín M.I. Alejandro Flores Rangel Dr. Omar Rodríguez Abreo M.I. Ernesto Christian Orozco Magdaleno Dr. Carlos Fuentes Silva Dr. José Luis Martínez Godoy Dr. José Trinidad López Estudiante Pavón Barbosa Iker Osvaldo Estudiante Jesús Alfredo Ortíz López	Torres Falcón	65

Crecimiento de Albahaca (*Ocimum basilicum* L.) con Relación a la Nutrición Química

Cid Aguilar Carpio Dr¹, Dr. Porfirio Juárez López²,
MC. Adriana Pérez Ramírez³ y Dr. José Alberto Salvador Escalante Estrada⁴

Resumen— El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de diferentes niveles de nitratos de la solución nutritiva Steiner sobre el crecimiento y producción en el cultivo de albahaca bajo condiciones de invernadero. El estudio se realizó en Cuernavaca, Morelos, México. En el cultivo de albahaca Nufar se aplicó la solución nutritiva de Steiner en diferentes niveles de nitrato 0, 8 y 16 mEq L⁻¹. Para evaluar el crecimiento del cultivo se realizaron muestreos destructivos; en donde midió el área foliar, índice de verdor, peso seco y fresco. A las variables se les realizó un análisis de regresión con el programa Excel®. El mayor índice de verdor, área foliar, peso seco y fresco se obtuvo con la solución nutritiva a 16 mEq L⁻¹. De acuerdo con los resultados encontrados, se sugiere emplear la solución nutritiva a 16 mEq L⁻¹ para obtener el mayor crecimiento y rendimiento en el cultivo de albahaca.

Palabras clave—nutrimentos, materia, plantas medicinales, producción.

Introducción

La albahaca (*Ocimum basilicum* L.) es una planta aromática y medicinal, herbácea, anual que puede ser una alternativa de producción en condiciones de invernadero, por ser económicamente importantes, debido a la demanda en los mercados. Presenta diversos usos farmacéuticos por sus propiedades diuréticas y estimulantes; además, tiene numerosas aplicaciones en la medicina tradicional (Ruiz *et al.*, 2016).

La albahaca se cultiva en regiones con clima cálido, semicálido, seco, semiseco y templado; (Reyes-Pérez *et al.*, 2013). En 2019, se cosecharon en México 387.5 ha de albahaca con una producción anual de 3,103.4 t y un rendimiento promedio de 8.0 t ha⁻¹. Dentro de los principales estados productores se encuentran Baja California Sur, Puebla, Morelos, Nayarit, Baja California y Guerrero. Siendo Morelos el tercer productor a nivel nacional con una producción de 338 t y rendimiento promedio de 6.7 t ha⁻¹ (SIAP, 2022).

Uno de los aspectos que pueden afectar el crecimiento y rendimiento de los cultivos, es la nutrición mineral (Sánchez *et al.*, 2009). En este sentido, el requerimiento nutrimental es la cantidad de nutrimento requerida por la planta para satisfacer sus necesidades metabólicas, y a su vez, alcanzar el rendimiento máximo (Valentín *et al.*, 2013). El crecimiento del cultivo está influenciado principalmente por el clima y la nutrición. Con base en lo anterior, el análisis de crecimiento ha sido usado ampliamente para el estudio de los factores (nutrición y condiciones ambientales) que influyen en el desarrollo de la planta, a través del seguimiento de la acumulación de materia seca durante el ciclo del cultivo (Aguilar-Carpio *et al.*, 2021). El análisis de crecimiento usa medidas directas como el peso de la materia seca, la cual depende del tamaño, actividad y duración del área foliar (Rakesh *et al.*, 2017).

Existen diversos estudios en albahaca relacionados a la producción con el uso de sustratos orgánicos (Ruíz *et al.*, 2016), fechas de siembra (Barroso y Jerez, 2002), evaluación de variedades de albahaca en condiciones salinas (Ojeda-Silvera *et al.*, 2015), así como la distribución de la biomasa por efecto del nitrógeno y potasio (Combatt-Caballero *et al.*, 2020). Sin embargo, los antecedentes indican que los estudios acerca del análisis de crecimiento en función de la nutrición mineral en albahaca son escasos, por lo que el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de diferentes niveles de nitratos de la solución nutritiva Steiner sobre el crecimiento y producción en el cultivo de albahaca bajo condiciones de invernadero.

Descripción del Método

El estudio se realizó en Cuernavaca, Morelos, México (18° 58' 51" latitud norte y 99° 13' 55" longitud oeste a 1866 msnm), de mayo a junio de 2019. En invernadero de plástico color blanquecino y malla anti afidos en las paredes laterales el 1 de abril se sembraron semillas de albahaca "Nufar" de la empresa Johnny's Selected Seeds® en

¹ Cid Aguilar Carpio Dr es Investigador Auxiliar Adjunto del Colegio de Posgraduados, Campus Montecillos, Montecillo, Estado de México. aguilar.cid@colpos.mx (autor corresponsal)

² El Dr. Porfirio Juárez López es Profesora de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos. porfirio.juarez@uaem.mx

³ La MC. Adriana Pérez Ramírez es Estudiante de Doctorado de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos. pera1283@yahoo.com.mx

⁴ El Dr. José Alberto Salvador Escalante Estrada es Profesora Investigadora del Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo, Montecillo, Estado de México. jasee@colpos.mx

bandejas de poliestireno de 200 cavidades, utilizando como sustrato de germinación a BM2 Berger®, en donde se colocó una semilla por cavidad. A los 30 días después de la siembra se realizó el trasplante en bolsas de polietileno.

Los tratamientos fueron concentraciones de la solución nutritiva de Steiner (1984) en diferentes niveles de nitrato 0, 8 y 16 mEq L⁻¹. Los fertilizantes que se usaron para preparar la solución nutritiva fueron nitrato de calcio, nitrato de potasio, sulfato de magnesio, sulfato de potasio y fosfato monopotásico. Los microelementos se aplicaron mediante mezcla comercial de quelatos (Ultrasol Micro Mix, SQM®), en dosis de 40 g por cada 500 L de solución nutritiva. Para calcular esta dosis se consideró el suministro de 3 ppm de hierro (Fe), ya que la mezcla comercial de micronutrientes contiene las siguientes concentraciones en porcentaje: Fe (7.5), Mn (3.7), B (0.4), Zn (0.6), Cu (0.3), y Mo (0.2). El pH se ajustó entre 5.6 y 6.0 con ácido sulfúrico. El riego se realizó diariamente y varió de 0.5 a 1.0 L de la solución nutritiva por macera en función del crecimiento del cultivo.

El diseño experimental fue completamente al azar con tres tratamientos y seis repeticiones. La unidad experimental estuvo conformada por 24 bolsas de polietileno color negro de 8 L de capacidad, llenadas con tezontle como sustrato, con granulometría de 1 a 10 mm.

Durante el desarrollo del estudio se registró la temperatura (°C) y humedad relativa (HR, %) dentro del invernadero con un registrador de datos ambientales Hobo Modelo U12-012 (Onset®). Asimismo, se midió el índice de verdor con el equipo portátil SPAD-502 Plus Minolta, las lecturas se tomaron entre las 11:00 y las 12:00 en hojas maduras y extendidas; el promedio de cada lectura se obtuvo de 10 registros con seis repeticiones.

El crecimiento del cultivo se evaluó en función de los cuatro niveles de nitratos de la solución nutritiva, mediante muestreos destructivos de cuatro plantas por tratamiento a los 7, 14, 21, 28, 35 y 42 días después del trasplante (ddt); en cada muestreo se midió el área foliar, el cual se determinó con un medidor de área foliar (LI-COR® 3100). También se evaluó el peso fresco y seco por planta (g) cuantificada con una báscula digital (OHAUS®), con aproximación de 0.0001 g. Las muestras se secaron a 70 °C en una estufa de circulación de aire forzado durante 72 horas.

A las variables en estudio se les realizó un análisis de regresión y se obtuvo la ecuación correspondiente, con el programa Excel®, Microsoft Office de Windows.

Resultados y discusión

Temperatura y humedad relativa

Las temperaturas máximas y mínimas registradas fueron 42 °C y 14 °C, respectivamente, con una media de 26 °C. La humedad relativa fue de 80, 20 y 49 % correspondientes a máxima, mínima y media, respectivamente. Estas condiciones ambientales concuerdan con las de Barroso y Jerez (2002) quienes, en el cultivo de albahaca en invernadero, reportaron que la temperatura media osciló entre 19 y 28 °C y la HR entre 75 y 81%. Condiciones diferentes a las registradas por Reyes *et al.* (2020) en donde el cultivo de albahaca se desarrolló con temperaturas medias de 13 hasta 20 °C y de 73 a 80% de HR.

Índice de verdor

Los niveles de nitratos utilizados generaron diferencias en el índice de verdor (Figura 1), en donde la aplicación de 16 mEq L⁻¹ promovió una mayor intensidad de verdor (52.9 SPAD) en las plantas de albahaca, a los 42 ddt, en relación con los demás tratamientos; tendencia que también se observó durante el crecimiento de la planta. Los valores graficados se adaptaron a un modelo polinómico de segundo grado. Por su parte, Campos y Flores (2013) reportaron en suelos con niveles bajos de nitrógeno (0.01 ppm) valores de 11 unidades SPAD en el cultivo de albahaca (*Ocimum Selloi* Benth.), lo que corrobora el hecho de que la aplicación de nitrógeno es importante en el crecimiento y rendimiento del cultivo.

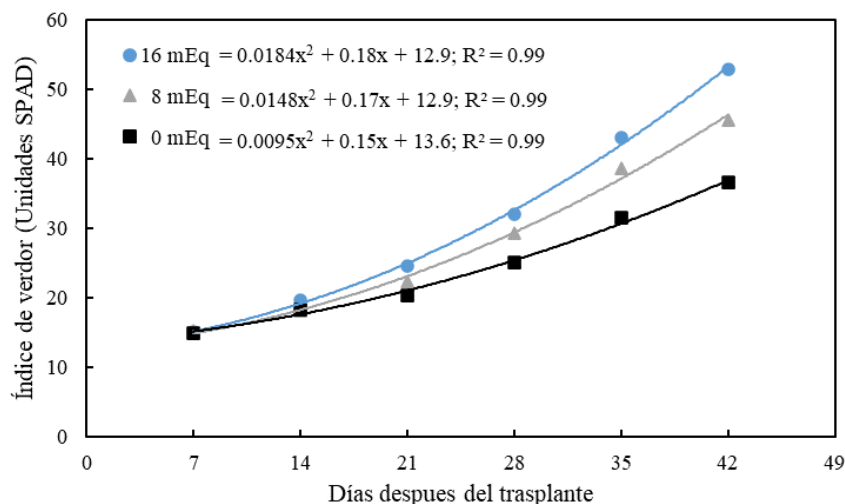


Figura 1. Efecto de la concentración de la solución nutritiva Steiner en el índice de verdor de plantas de albahaca.

Peso seco

En cuanto al peso seco, la aplicación de 16 mEq L⁻¹ presentó el valor más alto (14.2 g planta⁻¹) a los 42 ddt, en comparación a la aplicación de 8 y 0 mEq L⁻¹ (Figura 2). En el crecimiento del cultivo, el peso seco por planta presentó un crecimiento ascendente en función del nivel de la solución nutritiva aplicada. Las tendencias del peso seco en los niveles de nitratos se ajustaron a un modelo cuadrático. Así, la producción del peso seco por planta por día fue de 0.06 g para la concentración de a 16 mEq L⁻¹, el cual superó a la aplicación de 8 y 0 mEq L⁻¹. Al respecto, Combatt-Caballero *et al.* (2020) reportaron un aumento en el peso seco a medida que se fue elevando el nivel de nitrógeno en plantas de albahaca.

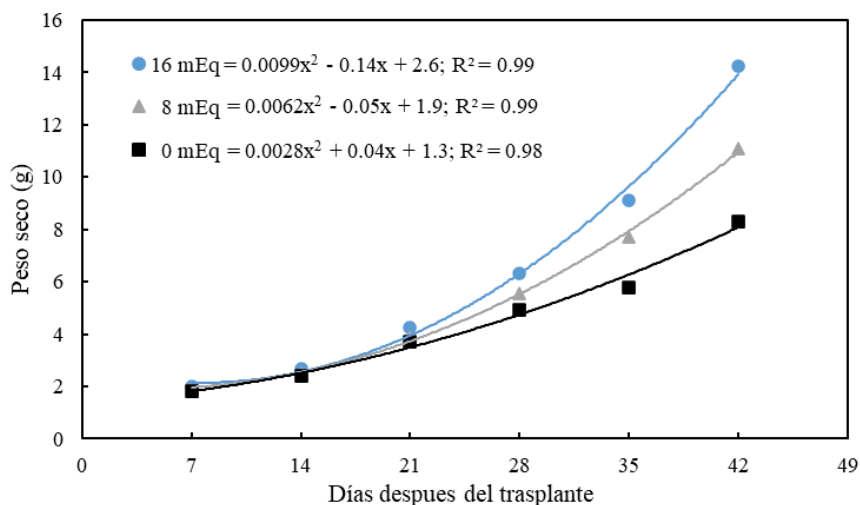


Figura 2. Efecto de la concentración de la solución nutritiva Steiner en el peso seco de plantas de albahaca.

Área foliar

El área foliar se vio favorecida por el aumentó en los niveles de nitratos de la solución nutritiva (Figura 3). Esta respuesta a los niveles de nitratos se ajustó a un modelo cuadrático. Puede apreciarse que con 16 mEq L⁻¹ se produjo la mayor área foliar por día (1.4 cm²), respecto a las demás concentraciones. Cabe indicar, que el máxima dosel foliar se pudo observar a los 42 ddt con la aplicación de 16 mEq L⁻¹ (173 cm²), así mismo, conforme se fue desarrollando la planta. Por su parte, el área foliar reportada por Colorado *et al.* (2013) fue de 132 cm² a los 61 ddt en plantas de albahaca cultivadas en suelos agrícolas, sin aplicación de fertilizantes químicos.

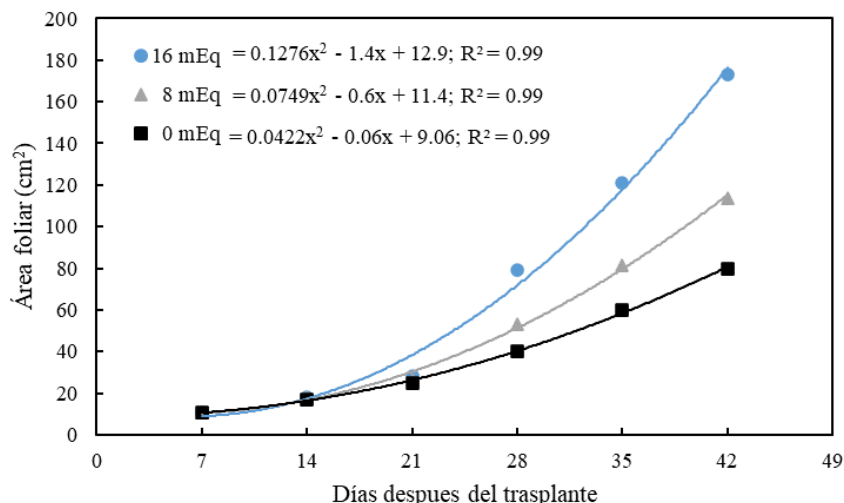


Figura 3. Efecto de la concentración de la solución nutritiva Steiner en área foliar de plantas de albahaca.

Peso fresco

El peso fresco más alto se obtuvo a los 42 ddt con la aplicación de 16 mEq L⁻¹ (185.6 g por planta), seguido de 8 mEq L⁻¹ (147 g por planta) (Figura 4). Esto indica que a medida que se incrementaron los niveles de nitratos de la solución nutritiva también se obtuvo una mejor producción en el peso fresco de la planta de albahaca. Al respecto, Vázquez-Vázquez *et al.* (2015) indican que con la solución Steiner a 12 mEq L⁻¹ se aumenta la materia fresca en plantas de albahaca.

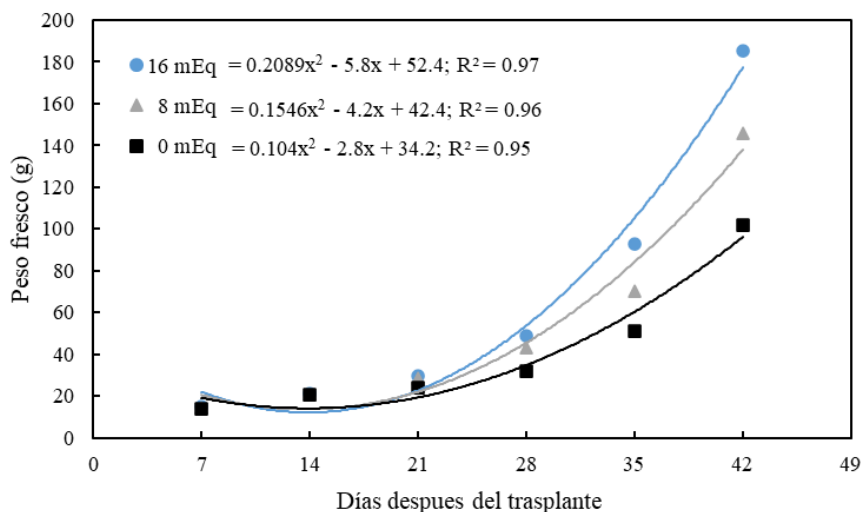


Figura 4. Efecto de la concentración de la solución nutritiva Steiner en el peso fresco de plantas de albahaca

Comentarios Finales

Conclusiones

El mayor índice de verdor, peso seco, tasa de crecimiento del cultivo, área foliar y peso fresco se obtuvo con la solución nutritiva de Steiner a 16 mEq L⁻¹. La aplicación de la nutrición química promovió un incremento ascendente sobre las variables evaluadas, así como en la productividad del cultivo.

Recomendaciones

De acuerdo con los resultados encontrados y las condiciones en que se realizó el estudio, se sugiere emplear la solución nutritiva de Steiner a 16 mEq L⁻¹ para obtener el mayor crecimiento y rendimiento en el cultivo de albahaca.

Referencias

- Aguilar-Carpio, C., González-Maza, S. V., Juárez-López, P., Alia-Tejacal, I., Palemón-Alberto, F., Arenas-Julio, Y. R. y Escalante-Estrada, A. S. 2021. Análisis de crecimiento de epazote (*Chenopodium ambrosioides* L.) cultivado en invernadero. *Biotecnia*. 23(2): 113-119.
- Barroso, L. y Jerez, E. 2002. Fenología de la albahaca (*Ocimum basilicum* L.) cultivada en diferentes fechas de siembra. *Cultivos Tropicales*. 23(2): 43-46.
- Campos, M. L. y Flores, S. D. 2013. Sustratos orgánicos como alternativa para la producción de albahaca (*Ocimum Selloi* Benth). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 5: 1055-1061.
- Colorado, F., Montañez, I., Bolaños, C. y Rey, J. 2013. Crecimiento y desarrollo de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) bajo cubierta en la sabana de Bogotá. *Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica*. 16(1): 121-129.
- Combatt-Caballero, E., Pérez-Polo, D., Villalba-Arteaga, J., Mercado-Lázaro, J. y Jarma-Orozco, A. 2020. Macronutrientes en el tejido foliar de albahaca *Ocimum basilicum* L. en respuesta a la aplicación de nitrógeno y potasio. *Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica*. 23(2): e1325.
- Ojeda-Silvera, C. M., Murillo-Amador, B., Nieto-Garibay, A., Troyo-Diéguez, E., Reynaldo-Escobar, I. M., Ruíz-Espinoza, F. y García-Hernández, J. L. 2015. Emergencia y crecimiento de plántulas de variedad de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) sometidas a estrés hídrico. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 2(5): 151-161.
- Rakesh, P., Vijay, P., Madurima, D., Mahesh, M. y Ramesh, C.M. 2017. *Plant Growth Analysis. Manual of ICAR Sponsored Training Programme on "Physiological Techniques to Analyze the Impact of Climate Change on Crop Plant"*. 103-107.
- Reyes, A. D. Y., Mora, H. M. E., Lugo, J. y Del Águila, P. 2020. Estabilización por vermicomposteo de lodos residuales aplicados en la productividad de albahaca (*Ocimum basilicum* L.). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 36(2): 371-381.
- Reyes-Pérez, J. J., Murillo-Amador, B., Nieto-Garibay, A., Troyo-Diéguez, E., Reynaldo-Escobar, I. M., Rueda-Puente, E. O. y Cuervo, A. J. L. 2013. Germinación y características de plántulas de variedades de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) sometidas a estrés salino. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícola*. 4(6): 869-880.
- Ruiz, E. F. H., Hernández, E. R., Beltran, M. F. A., Zamora, S. S., Loya, R. J. G. y Luna, O. J. G. 2016. Macroalgas como componente en el sustrato para producción de plántula de albahaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 17: 3543-3555.
- Sánchez, G. P., Molinos, D. S. C., Alcántar, G. G. y Sandoval, V. M. 2009. Diagnóstico nutrimental en plantas. In: Alcántar, G. G., & Trejo-Téllez, L. I. (Eds.), *Nutrición de Cultivos* (pp. 202-247). D.F., México: Mundi-Prensa.
- SIAP (Sistema de Información Agropecuaria). 2022. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta. SAGARPA. México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. In *Proc. 6th International Congress on Soilless Culture* (pp: 633-649). ISOSC. Wageningen, The Netherlands.
- Vázquez-Vázquez, C., Ojeda-Mijares, G. I., Fortis-Hernández, M., Preciado-Rangel, P. y Antonio-González, J. 2015. Sustratos orgánicos en la producción de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) y su calidad fitoquímica. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 16(8): 1833-1844.
- Valentín, M. M. C., Castro, B. R., Rodríguez, P. J. E. y Pérez, G. M. 2013. Extracción de macronutrientes en chile de agua (*Capsicum annum*). *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 19: 71-78.

Notas Biográficas

- El **Dr. Cid Aguilar Carpio** es Investigador Auxiliar Adjuvado del Colegio de Posgraduados, Campus Montecillos, Montecillo, Estado de México.
- El **Dr. Porfirio Juárez López** es Profesora de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos.
- La **MC. Adriana Pérez Ramírez** es Estudiante de Doctorado de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos.
- El **Dr. José Alberto Salvador Escalante Estrada** es Profesora Investigadora del Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo, Montecillo, Estado de México.

Síntesis Sostenible de Compuestos Orgánicos: Evaluación Ecoescala

M.C. Erika Alarcón Matus¹, Dra. Nancy Romero Ceronio², Dr. Cuauhtémoc Alvarado³, Dr. Luis Fernando Roa de la Fuente⁴, Dr. Joel L. Terán⁵, Dr. Abraham Gómez Rivera⁶ y Dr. Carlos Ernesto Lobato García⁷

Resumen— Las chalconas, son precursores de los flavonoides e isoflavonoides, son compuestos con un sistema enona entre dos anillos aromáticos, estas constituyen una importante clase de productos naturales debido a que exhiben interesantes actividades farmacológicas (antiinflamatoria, antituberculosis, antifúngica, antimalarial, anticancerígeno, antioxidante, entre otras). Esta investigación presenta el empleo de condiciones suaves en la síntesis de chalconas a partir de la condensación tipo Claisen-Schmidt de la acetofenona con 2-nitrobenzaldehído, 3-nitrobenzaldehído, 4-nitrobenzaldehído, 2,6-diclorobenzaldehído y 3,4-diclorobenzaldehído en etanol empleando diferentes concentraciones de una solución de hidróxido de sodio. Se obtuvieron compuestos puros, con rendimientos por encima del 92 % y evaluaciones de ecoescala mayores del 83 %, los cuales se aislaron mediante recristalización y fueron caracterizados utilizando técnicas convencionales como: ¹H-, ¹³C-NMR y espectroscopía de infrarrojo (IR).

Palabras clave—química sostenible, chalconas, ecoescala

Introducción

Uno de los desafíos que enfrentan la química, en este siglo, es cumplir con la demanda de productos que se emplean hoy en día sin contribuir al deterioro ambiental. La industria química y de transformación participa en la elaboración de productos terminados como los son los alimentos, el vestido, los medicamentos, el combustible y en la síntesis de un sin número de materias primas que son necesarios para la creación de estos y que permiten el desarrollo de la sociedad y por ende la mejora de la calidad de vida (García y Calvo-Flores, 2008; Soledad-Rodríguez, 2018).

Anastas y Warner (1998) introdujeron el término “*green chemistry*” o *química sostenible*, que refiere al “*diseño de procesos y productos químicos que reduzcan o eliminen el uso y generación de sustancias peligrosas*”, y para ello establecieron doce principios con el objetivo de diseñar reacciones que no solo sean eficaces, selectivas y den altos rendimientos, sino que también sean benignas para el medio ambiente (Anastas y Warner, 1998).

La posibilidad de evaluar ¿qué tan verde es una reacción química?, se puede lograr empleando diferentes parámetros como: el factor E, la economía atómica, *EcoScale* (ecoescala), entre otros (Calvo-Flores, 2019; Sheldon, 1992; Trost, 1991; Van Aken et al. 2006). La ecoescala es una herramienta semicuantitativa introducido por Aken *et al* en el 2006, que toma en cuenta parámetros económicos y ecológicos, la cual se basa en una escala del 0 al 100, donde 0 representa una reacción fallida y 100 una reacción ideal, esta última fue definida por los autores como: “Compuesto A (sustrato) reacciona con (o en presencia) el compuesto B (asequible) para dar el compuesto deseado C con un 100% de rendimiento a temperatura ambiente, con riesgo mínimo para el operador y un impacto ambiental mínimo” (Van Aken et al. 2006).

La ecoescala considera seis parámetros, el rendimiento, el precio de los componentes de reacción, la seguridad, el equipo técnico, la temperatura/tiempo y la elaboración/purificación. Los autores establecieron puntos de penalización para cada parámetro, al final, a 100 puntos (síntesis ideal) se le resta la sumatoria de los puntos penalizados obtenidos, esta operación da como resultado un puntaje. La puntuación obtenida por la reacción a evaluar se clasifica en: > 75, excelente; > 50, aceptable; < 50, inadecuada (Van Aken et al. 2006).

¹ La M. C. Erika Alarcón Matus es estudiante del Doctorado en Ciencias con orientación en Química Orgánica en la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Cunduacán, Tabasco, México erikaalarconmatus@hotmail.com

² La Dra. Nancy Romero Ceronio es Profesora del posgrado en Ciencias con orientación en: Materiales, Nanociencias y Química Orgánica en la División Académica de Ciencias Básicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (DACB-UJAT), Cunduacán, Tabasco, México nancy.romero@ujat.mx

³ El Dr. Cuauhtémoc Alvarado es profesor del posgrado en Ciencias con orientación en: Materiales, Nanociencias y Química Orgánica, DACB-UJAT, Cunduacán, Tabasco, México cuauhtemoc.alvarado@ujat.mx

⁴ El Dr. Luis Fernando Roa de la Fuente es Profesor del Doctorado en Ciencias con orientación en: Materiales, Nanociencias y Química Orgánica, DACB-UJAT, Cunduacán, Tabasco, México fernando.roa@ujat.mx

⁵ El Dr. Joel L. Terán es Profesor del posgrado en Ciencias Químicas de la Benémerita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), Puebla, México joel.teran@correo.buap.mx

⁶ El Dr. Abraham Gómez Rivera es Profesor del posgrado en Ciencias con orientación en: Materiales, Nanociencias y Química Orgánica, DACB-UJAT, Cunduacán, Tabasco, México abraham.gomez@ujat.mx

⁷ El Dr. Carlos Ernesto Lobato García es Profesor del posgrado en Ciencias con orientación en: Materiales, Nanociencias y Química Orgánica, DACB-UJAT, Cunduacán, Tabasco, México carlos.lobato@ujat.mx

En el presente artículo se describe la síntesis de chalconas sustituidas por grupo(s) nitro o cloro, empleando condiciones suaves de reacción que incluye el uso de disolventes inocuos tales como el agua y etanol, mediante la condensación de Claisen-Schmidt. Además, se presenta la evaluación mediante la ecoescala para determinar el impacto ambiental de las rutas sintéticas empleadas.

Las chalconas son compuestos con un sistema enona entre dos anillos aromáticos, son precursores de los flavonoides e isoflavonoides que están presentes en varios productos de la naturaleza, además, existen numerosos reportes de chalconas sintéticas y naturales en donde se describen las interesantes actividades farmacológicas exhibidas, tales como: antiinflamatoria, antituberculosa, antifúngica, antipalúdica, antiproliferativa, antimicrobiana, antibacteriana, anticancerígena, por mencionar algunas (Ouyang et al. 2021). El método clásico para la síntesis de chalconas, es la condensación de Claisen-Schmidt, actualmente en la bibliografía existen reportados un gran número de metodología para este tipo de condensaciones, estos incluyen catálisis básica o ácida, homogénea o heterogénea, el empleo de diferentes disolventes, o bien en condiciones libre de disolvente, a temperaturas de 50-100 °C, algunas reportan tiempos largos de reacción (Jasim et al. 2021; Salehi et al. 2021).

Como se puede observar en la Figura 1, las chalconas pueden tener diferentes sustituyentes en los anillos aromáticos A y B, los cuales pueden potencializar la actividad biológica de la misma, o bien, pueden ser empleadas en la obtención de moléculas más complejas, por ejemplo, la metochalcona presenta una actividad como antiurético; mientras la sofalchalcona presenta una actividad antiulcerosa como gastroprotector contra *Helicobacter pyloridis* (Gomes et al. 2017; Ouyang et al. 2021).

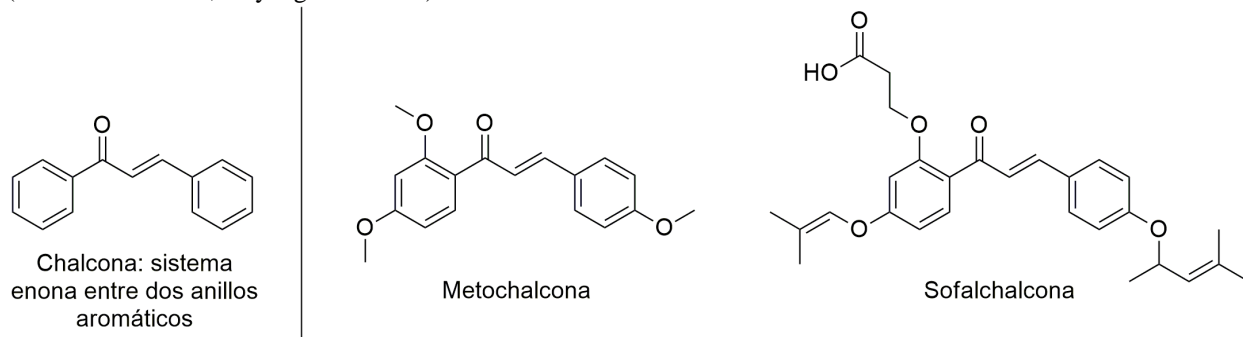
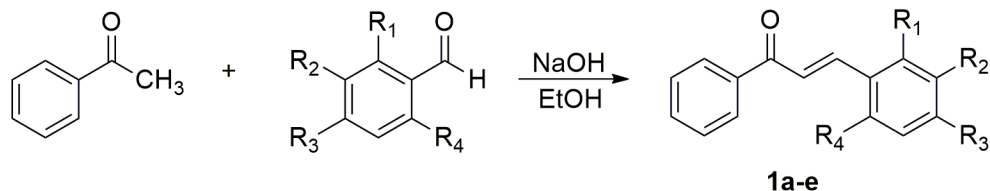


Figura 1. Chalconas con actividad biológica

Descripción del Método

Todos los reactivos empleados para la síntesis, así como para la caracterización espectroscópica de los productos, fueron de grado analítico y espectroscópico respectivamente (Sigma Aldrich y Fisher Scientific). Las chalconas **1a-e** (Figura 2) fueron sintetizadas vía condensación de Claisen-Schmidt entre acetofenona y 2-nitrobenzaldehido, 3-nitrobenzaldehido, 4-nitrobenzaldehido, 2,6-diclorobenzaldehido y 3,4-diclorobenzaldehido respectivamente. La síntesis consistió en colocar proporciones equimoleculares de la acetofenona con el aldehído correspondiente empleando hidróxido de sodio como base en etanol como disolvente dejando la reacción a temperatura ambiente y en agitación continua. Una vez terminada la reacción, el crudo de reacción se filtró y se colectaron los precipitados, los cuales posteriormente fueron purificados por recristalización obteniéndose las chalconas puras.



Donde:

1a: R₁ = NO₂, R₂ = R₃ = R₄ = H

1b: R₂ = NO₂, R₁ = R₃ = R₄ = H

1c: R₃ = NO₂, R₁ = R₂ = R₄ = H

1d: R₁ = R₄ = Cl, R₂ = R₃ = H

1e: R₂ = R₃ = Cl, R₁ = R₄ = H

Figura 2. Esquema de Reacción de condensación de Claisen-Schmidt entre acetofenona y benzaldehídos sustituidos.

Resultados y discusiones

Síntesis de chalconas

Con el propósito de explorar las condiciones de reacción establecidas, se utilizaron diferentes equivalentes del hidróxido de sodio. Las chalconas **1a-e**, se obtuvieron con buenos rendimientos y tiempos de reacción menores a 3.5 h. Los mejores resultados de síntesis se resumen en el Cuadro 1. En la condensación del 2-nitrobenzaldehído y acetofenona se emplearon 0.5 equivalentes de hidróxido de sodio obteniendo la chalcona **1a** con rendimiento de 34% (Cuadro 1, experimento 1). En los experimentos 2 y 3 (Cuadro 1) el empleo de 0.1 equivalentes de hidróxido de sodio, en ambos experimentos, fue suficiente para obtener los compuestos deseados **1b** y **1c** con rendimientos del 92 y 82 % respectivamente.

Experimento	Compuesto	Condiciones	Tiempo	Rendimiento (%) ^a
1	1a	0.5 Eq NaOH	3 h	34
2	1b	0.1 Eq NaOH	3.5 h	92
3	1c	0.1 Eq NaOH	2 h	82
4	1d	1.0 Eq NaOH	3.5 h	92
5	1e	1.0 Eq NaOH	2 h	89
6	1a	1) 0.1 Eq NaOH 2) H ₂ SO ₄ 5%	2 h 0.5 h	90 ^b

^a Rendimiento de los compuestos puros después de filtración.

^b Rendimiento global.

Cuadro 1. Condiciones y resultados de la síntesis de chalconas **1a-e**

Por otro lado, para síntesis de las chalconas **1d** y **1e** se necesitó una cantidad equimolar de base para optimizar el porcentaje de rendimiento obtenido, así los productos **1d** y **1e** se obtuvieron con rendimientos del 92 y 89%, respectivamente (Cuadro 1, Experimentos 4 y 5). En el Cuadro 1 en general, se puede observar que las chalconas de interés fueron obtenidas con rendimientos que van de buenos a excelentes, a excepción del experimento 1. Debido al bajo rendimiento presentado por el método directo para la obtención del compuesto **1a**, fue necesario emplear otro método de síntesis. La chalcona **1a** se obtuvo por condensación Claisen-Schmidt seguido de la deshidratación del compuesto aldólico **2** (Cuadro 1, Experimento 6), es decir un proceso en dos etapas.

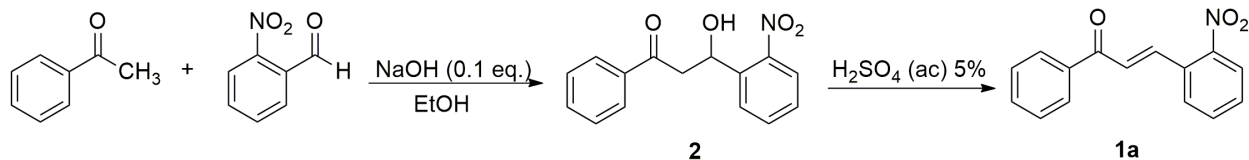


Figura 3. Esquema de síntesis de 2-nitrochalcona (**1a**).

En la metodología propuesta en la Figura 3, se logró disminuir el tiempo de reacción e incrementar el rendimiento, esta metodología consistió primero la condensación entre el 2-nitrobenzaldehído con acetofenona, utilizando 0.1 equivalentes de NaOH, para generar el producto aldólico **2**, y como segundo paso la hidrólisis ácida para generar el compuesto alfa-beta insaturado correspondiente. El compuesto **1a** se obtuvo por recristalización por par de disolventes (diclorometano/hexano) con un rendimiento global del 90 % en un tiempo total de 2.5 horas. En comparación con lo reportado previamente por Arlindo y Carrera en el 2018, estos autores obtienen el compuesto **1a** en condiciones de reacción clásicas de Claisen-Schmidt con tiempos de reacción promedio de 5 horas y con un rendimiento del 64% (Arlindo et al. 2018).

Ecoescala de los productos obtenidos

Se realizó la evaluación por ecoescala a todos los procesos de síntesis desarrollados. En las condiciones de reacción seguidas para la síntesis de las chalconas deseadas no fue necesario emplear disolventes tóxicos, aportes energéticos mayores, ni tiempos de reacción largos. En el Cuadro 2, se muestran los resultados obtenidos de la evaluación ecoescala para los compuestos **1a-e**.

Experimento	Compuesto	Ecoescala (puntos)
1	1a (ruta 1)	59
2	1b	88
3	1c	83

4	1d	88
5	1e	86
6	1a (ruta 2)	85

Cuadro 2. Evaluación de la eficiencia de la reacción

En el caso del compuesto **1a**, que fue obtenido por dos rutas de síntesis, se observa que la puntuación de ecoescala para la ruta 1 fue 59 puntos, mientras que la ruta 2 fue de 85 puntos, consideradas como “*aceptable*” y “*excelente*” respectivamente. Por otro lado, los compuestos **1b-e** fueron obtenidos con valores de ecoescala por encima de 83 puntos, considerandos como “*excelentes*”, por lo que se consideran una ruta de síntesis viable amigable con el ambiente (Van Aken et al. 2006).

Caracterización espectroscopia de los productos obtenidos

La caracterización espectroscópica de los compuestos **1a-e** se llevó a cabo empleando técnicas convencionales como lo son la resonancia magnética nuclear (^1H y ^{13}C -RMN) y espectroscopia de infrarrojo (IR). Los espectros de IR se hicieron en KBr en un espectrofotómetro marca NICOLET modelo Magna FT-IR 750 o en el equipo Spectrum One de Perkin-Elmer. Los espectros de RMN de ^1H y ^{13}C y COSY se obtuvieron en los espectrofotómetros de RMN: Varían VX400 (400 MHz), varían VX300 (300MHz), usando TMS como referencia interna. Las asignaciones de ^1H se confirmaron con técnicas de correlación de ^1H - ^1H y ^1H - ^{13}C . Los desplazamientos químicos (δ) se expresan en ppm, las constantes de acoplamiento en (J) Hz. (Ver apéndice).

Comentarios Finales

Resumen de resultados

En este trabajo investigativo se estudió la síntesis y evaluación por ecoescala de las chalconas nitro y cloro sustituidas en el anillo B. Los compuestos fueron obtenidos con rendimientos de reacción y valores de ecoescala excelentes, además, en condiciones suaves de reacción y sin necesidad de tratamientos extra para su purificación. Lo cual permite que la metodología sea viable en la síntesis de este tipo de compuestos y sea considerada amigable con el ambiente.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en el trabajo de investigación evidencian la posibilidad de obtener productos químicos de interés biológico que se alinean a los objetivos de la química verde. La ecoescala debe considerarse como instrumento indispensable para la evaluación de preparaciones orgánicas, a nivel de laboratorio, que permita la búsqueda de rutas alternas para el alcance de los compuestos de interés.

Recomendaciones

Los autores muestran interés en incluir la evaluación ecoescala como medio de evaluación en las diferentes síntesis que se llevan a cabo en el laboratorio de síntesis orgánica de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco y conocer el impacto que tendrían en el ambiente. Por otro lado, se puede orientar la investigación a la evaluación farmacológica de estos compuestos como antiinflamatorios, debido a que las chalconas presentan actividades farmacológicas diversas.

Referencias

- Anastas, P. T. y Warner, J. C. “Green chemistry: theory and practice, Oxford University Press,” *New York*, Vol. 30, 1998.
- Arlindo, Z., Carrera, S. y González, J. “Síntesis de Chalconas: Estructuras Privilegiadas en la Síntesis de Heterociclos con Actividad Biológica,” *Psychologia Latina*, Especial, 2018.
- Calvo-Flores, F. G. “Parámetros para el análisis de las reacciones en química,” *Anales de La Real Sociedad Española de Química*, Vol. 105, No. 1, 2009.
- García, F. y Calvo-Flores, J. “Química sostenible: una alternativa creíble,” *Anales de La Real Sociedad Española de Química*, Vol. 104, No. 3, 2008.
- Gomes, M. N., Muratov, E. N., Pereira, M., Peixoto, J. C., Rosseto, L. P., Cravo, P. V. L., Andrade, C. H., y Neves, B. J. “Chalcone derivatives: Promising starting points for drug design,” *Molecules*, Vol. 22, No. 8, 2017.
- Jasim, H. A., Nahar, L., Jasim, M. A., Moore, S. A., Ritchie, K. J. y Sarker, S. D. “Chalcones: Synthetic chemistry follows where nature leads,” *Biomolecules*, Vol. 11, No.8, 2021.

Ouyang, Y., Li, J., Chen, X., Fu, X., Sun, S. y Wu, Q. "Chalcone derivatives: Role in anticancer therapy," *Biomolecules*, Vol. 11, No. 6, 2021.

Salehi, B., Quispe, C., Chamkhi, I., el Omari, N., Balahbib, A., Sharifi-Rad, J., Bouyahya, A., Akram, M., Iqbal, M., Docea, A. O., Caruntu, C., Leyva-Gómez, G., Dey, A., Martorell, M., Calina, D., López, V. y Les, F. "Pharmacological Properties of Chalcones: A Review of Preclinical Including Molecular Mechanisms and Clinical Evidence," *Frontiers in Pharmacology*, Vol. 11, No. 1, 2021.

Sheldon, R. A. "Organic synthesis - past, present and future," *Chemistry and industry*, No. 23, 1992.

Soledad-Rodríguez, B. "Enseñanza de la química sostenible en las carreras de ingeniería," *Revista de Química, PUCP*, Vol. 32, No.1, 2018.

Trost, B. M. "The atom economy--a search for synthetic efficiency," *Science*, Vol. 254, No. 5037, 1991.

Van-Aken, K., Strekowski, L. y Patiny, L. "EcoScale, a semi-quantitative tool to select an organic preparation based on economical and ecological parameters," *Beilstein Journal of Organic Chemistry*, Vol. 2, No. 3, 2006.

Notas Biográficas

La **M.C. Erika Alarcón Matus** realizó sus estudios de Licenciatura en Química (2010) y Maestría en Ciencias (2014) con orientación en Química Orgánica en la Universidad Autónoma Juárez de Tabasco (UJAT, México), donde actualmente trabaja como profesor de medio tiempo y cursa sus estudios doctorales. Las líneas de investigación de interés son química verde, organocatálisis, síntesis orgánica y el empleo de energías alternativas como ultrasonido y/o microondas.

La **Dra. Nancy Romero Ceronio** es profesora investigadora en la Universidad Autónoma Juárez de Tabasco, obtuvo su grado de Licenciada en Química (2001) en la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (2006, UJAT, México) e hizo su doctorado en Ciencias Químicas en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). Sus líneas de interés son la síntesis orgánica empleando química sustentable, productos naturales y educación química.

El **Dr. Cuauhtémoc Alvarado** obtuvo su grado de Licenciado (2003) y Doctor (2008), ambos en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), continuó sus estudios posdoctorales en la Universidad Autónoma de Madrid en el grupo de investigación del Dr. José Luis García Ruano (2009–2011). Actualmente es profesor de tiempo completo de la Universidad Autónoma Juárez de Tabasco (UJAT, México).

El **Dr. Luis Fernando Roa de la Fuente** es profesor de tiempo completo de la Universidad Autónoma Juárez de Tabasco (UJAT, México). Sus líneas de interés son la síntesis asimétrica de compuestos con interés biológico, la estereoquímica y la elucidación de estructuras moleculares.

El **Dr. Joel L. Terán** es profesor de tiempo completo de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). Realizó sus estudios doctorales en el Instituto de Química de la BUAP (2001) bajo la supervisión del Dr. Dino Gnecco. Es profesor en el grupo de síntesis asimétrica en el Instituto de química, Centro de química, de la BUAP desde el 2003. Además, su trabajo de investigación está orientado a la síntesis de compuestos zwitterionicos quirales a partir de aminoalcoholes, aminas primarias y secundarias quirales comercialmente disponibles.

El **Dr. Carlos Ernesto Lobato García** es profesor de tiempo completo de la Universidad Autónoma Juárez de Tabasco (UJAT, México). Estudió la licenciatura en química farmacéutica en la Universidad de Veracruz, México y obtuvo su grado de doctor en Química Orgánica en la Universidad Nacional Autónoma de México.

Apéndice

Datos de caracterización

(E)-3-(2-nitrofenil)-1-fenilprop-2-en-1-ona, 1a: PF.: 116 °C; sólido amarillo; IR (neat): ν 1663, 1600, 1568, 1511, 1434, 1372, 1337, 1283, 1209, 1006, 968, 855, 745, 737, 678 cm^{-1} ; $^1\text{H-RMN}$ (400 MHz, CDCl_3): δ 7.32-7.36 (d, 1H), 7.48-7.61 (m, 4H), 7.68-7.76 (m, 2H), 8.00-8.05 (m, 3H), 8.11-8.14 (d, 1H); $^{13}\text{C-RMN}$ (400 MHz, CDCl_3): δ 124.87, 127.04, 128.62, 128.65, 129.14, 130.31, 131.12, 133.08, 133.54, 137.24, 140.02, 190.22.

(E)-3-(3-nitrofenil)-1-fenilprop-2-en-1-ona, 1b: PF.: 133 °C; sólido blanco; IR (neat): ν 2922, 1661, 1607, 1529, 1450, 1354, 1309, 733, 704, 683 cm^{-1} ; $^1\text{H-RMN}$ (400 MHz, CDCl_3): δ 7.50-7.55 (m, 2H), 7.66 (s, 1 H), 7.8-7.85 (d, 1H), 7.91-7.94 (dd, 1H), 8.03-8.06 (m, 2H), 8.22-8.26 (dd, 1H), 8.49-8.50 (t, 1H); $^{13}\text{C-RMN}$ (400 MHz, CDCl_3): δ 122.27, 124.43, 124.56, 128.50, 128.71, 129.95, 133.22, 134.25, 136.51, 137.42, 141.52, 148.57, 189.52.

(E)-3-(4-nitrofenil)-1-fenilprop-2-en-1-ona, 1c: PF.: 157 °C; sólido amarillo; IR (neat): ν 2927, 1659, 1607, 1515, 1342, 1219, 1107, 1049, 1016, 842, 781, 744 cm^{-1} ; $^1\text{H-RMN}$ (400 MHz, CDCl_3): δ 7.51-7.55 (t, 2H), 7.60-7.62 (m, 1H), 7.63-7.67 (d, 1H), 7.77-7.79 (d, 1H), 7.79-7.83 (d, 2H), 8.02-8.05 (m, 2H), 8.25-8.27 (d, 2H); $^{13}\text{C-RMN}$ (400 MHz, CDCl_3): δ 124.12, 125.60, 128.51, 128.74, 128.87, 133.30, 137.42, 140.95, 141.41, 148.44, 189.53.

(E)-3-(2, 6-diclorofenil)-1-fenilprop-2-en-1-ona, 1d: PF.: 75 °C; sólido amarillo; IR (neat): ν 3070, 1669, 1610, 1584, 1432, 1302, 1259, 1214, 1173, 1011, 973, 774, 961, 603 cm^{-1} ; $^1\text{H-RMN}$ (400 MHz, CDCl_3): δ 7.17-7.21 (t, 1H), 7.36-7.38 (d, 2H), 7.48-7.52 (m, 2H), 7.57-7.61 (m, 1H), 7.64-7.68 (d, 1H), 7.83-7.87 (d, 1H), 8.01-8.03 (m, 2H); $^{13}\text{C-RMN}$ (400 MHz, CDCl_3): δ 128.63, 128.65, 128.78, 129.66, 129.79, 130.36, 132.52, 133.07, 133.52, 135.10, 137.53, 137.74, 190.06.

(E)-3-(3, 4-diclorofenil)-1-fenilprop-2-en-1-ona, 1e: PF.: 96 °C; sólido blanco; IR (neat): ν 3062, 1665, 1601, 1547, 1504, 1470, 1396, 1312, 1214, 1132, 1077, 1023, 977, 881, 821, 775, 684 cm^{-1} ; $^1\text{H-RMN}$ (400 MHz, CDCl_3): δ 7.46-7.74 (d, 1H), 7.48-7.49 (d, 1H), 7.49-7.5 (m, 1H), 7.51-7.53 (dd, 2H), 7.58-7.63 (m, 1H), 7.76 (s, 1H), 7.71-7.73 (m, 2H); $^{13}\text{C-RMN}$ (400 MHz, CDCl_3): δ 123.46, 127.50, 128.50, 128.71, 129.73, 130.93, 133.12, 141.90, 189.82.

3-hidroxi-3-(2-nitrofenil)-1-fenilpropan-1-ona, 2: PF.: 88 °C; sólido blanco; IR (neat): 3440, 2979, 1597, 1523, 1346, 1122, 1043, 757, 746, 686 cm^{-1} ; $^1\text{H-RMN}$ (400 MHz, CDCl_3): δ 7.94-7.99 (m, 4H), 7.68-7.70 (t, 1H), 7.58-7.60 (t, 1H), 7.44-7.48 (m, 4H), 5.84-5.87 (dd, 1H), 3.68-3.73 (dd, 1H), 3.19-3.25 (dd, 1H); $^{13}\text{C-RMN}$ (400 MHz, CDCl_3): δ 199.76, 140.15, 138.53, 136.19, 133.74, 128.66, 128.33, 128.23, 128.15, 124.35, 65.80, 46.92.

Efecto de la Formación de Plasma sobre la Reflexión de Luz Láser en la Ablación de Metales

Dra. Olena Benavides¹ Dr. Aarón Flores Gil¹ Dr. Lelio de la Cruz May¹
¹ Universidad Autónoma del Carmen

Resumen— En este trabajo estudiamos la reflectividad total de los metales pulidos mecánicamente. Para experimento utilizamos un láser Nd: YAG de conmutación Q que genera pulsos de 50 ns a una longitud de onda de 1064 nm para la ablación de la muestra. Los experimentos se realizan en aire a la presión atmosférica. Nuestro estudio muestra que, para las fluencias del láser por debajo de los umbrales de formación de plasma, la reflectividad de las muestras permanece prácticamente igual a los valores de reflectividad a temperatura ambiente. Pero al alcanzar los valores por encima del umbral de formación de plasma, la reflectividad total comienza a sufrir una significativa caída que es igual a alrededor de 0,17 y 0,11 para la plata y el molibdeno, respectivamente. Determinamos estos valores del umbral para dos metales, así como las temperaturas de formación de la plasma.

Palabras clave— ablación, reflectividad, metales, plasma, fluencia de umbral.

Introducción

La ablación de sólidos con láser de nanosegundos se utiliza en numerosas aplicaciones, como autoplegado de los metales (Lazarus N. et al 2019), recubrimiento con películas delgadas (Ashfold et al 2004, Chrisey et al 1994), procesamiento de materiales con nano/micro-láseres (Gyorgy, 2004, Pedraza, 2003, Wang, 2004, Hendow, 2010), parametrización de propiedades ópticas (Zorba, 2008, Tang, 2012), diseño de materiales hidrofóbicos (Ta, 2015, Ocaña, 2016) y otros. Aunque existen varios estudios sobre la ablación con láser de nanosegundos de alta intensidad, el efecto de la formación de la plasma en la reflectividad de los metales aún es un tema de investigación. Bonch-Bruевич (1968) primero estudió la reflectividad de los metales irradiados por pulsos de láser de alta intensidad, donde se encontró experimentalmente una caída sustancial de la reflectividad total. Basov (1969) estudió la reflectividad total de Cu, Sn y Al cuando se irradian con pulsos de láser Nd de 15 ns, variando la fluencia del láser de 3×10^7 a 3×10^{10} W/cm². Los resultados muestran una fuerte disminución de los valores de reflectividad para la ablación en vacío. Los experimentos previos (Basov, 1969, Vorob'ev, 1985, Benavides et al 2013, 2015) que estudian la reflectividad de los metales mediante pulsos de láser en el régimen de ablación exhiben la misma reducción de la reflectividad asociada con la formación de plasma en la superficie de la muestra. En una serie de aplicaciones, por ejemplo, en espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) (Russo, 2000), existe la necesidad de determinar la fluencia de umbral de aparición de la plasma para determinar punto de la caída de la reflexión, así como temperaturas que experimentan las muestras en con estas potencias de láser. Para avanzar en la comprensión del proceso de reflexión en la ablación de metales, realizamos un estudio experimental sobre la reflexión de pulsos láser de nanosegundos para dos metales y determinamos parámetros más importantes de estos procesos Nuestra elección de titanio está motivada por sus diversas aplicaciones biomédicas. Encontramos que el efecto de la longitud de onda del láser es esencial a bajos valores de fluencia del láser, mientras que es insignificante para los valores de fluencia del láser que exceden el umbral de formación de plasma en un orden de magnitud aproximadamente.

Descripción del Método

Arreglo experimental

Para el estudio de la reflexión de la luz láser en la ablación de los metales, se utiliza un montaje experimental se muestra en la Fig. 1. Las muestras estudiadas se irradian con un láser de Nd: YAG que produce pulsos con una duración de 50 ns. Para medir la luz láser reflejada desde la muestra, se utiliza una técnica de reflector de luz elipsoidal informado anteriormente en (Vorob'ev et al 1985, 2011). La muestra estudiada se coloca en un punto focal interno de un reflector elipsoidal. Usamos una lente con una longitud focal de 20 cm, el haz de laser se enfoca sobre la muestra a través de un pequeño orificio de entrada en el reflector. Para la reducción de la retro-dispersión de la luz láser a través del orificio de entrada, la muestra está inclinada en 19 grados con respecto al eje del haz láser. Para medir la energía del impulso de láser reflejado, E_{refl} , se utiliza un contador de energía colocado en el punto focal externo del reflector. Para eliminar la radiación de plasma al medidor de energía, se utiliza un filtro de corte colocado en frente de ella. Energía del pulso de láser incidente sobre la muestra, E_{inc} , se mide usando un separador del haz que dirige una fracción del haz de láser (8%) sobre un contador de energía como se muestra en la Fig. 1

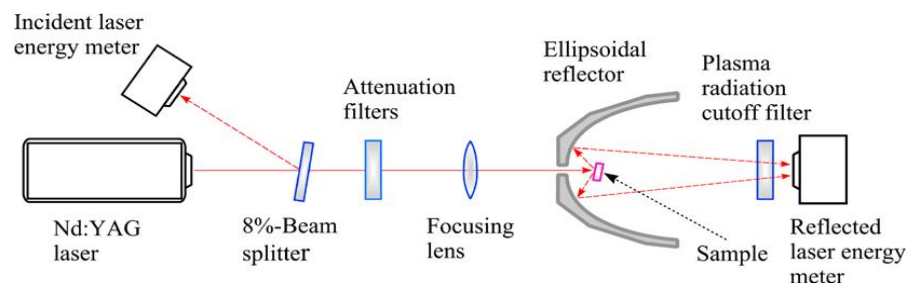


Figura 1. Arreglo experimental

Midiendo E_{refl} y E_{inc} , encontramos a la reflectividad hemisférica total, R , (una suma de especular y componentes difusas de la luz reflejada) como $R = E_{refl} / E_{inc}$. La fluencia del láser, F , incidente sobre la muestra se encuentra como $F = E_{inc} / A$, donde A es el área de la mancha focal del láser en la muestra.

La reflectividad total se estudió en un rango de fluencia del láser de 0,1 a 110 J/cm². Todos los experimentos se llevan a cabo en el aire a la presión atmosférica. Después de cada disparo de láser la muestra se traslada con ayuda de X-Y traslador controlado por la computadora para irradiar en una nueva parte de la superficie por el siguiente disparo láser. Junto con las mediciones de reflectividad, también se determinan los umbrales de daño superficial y formación de plasma. El umbral de daño superficial se encuentra como la fluencia láser más baja que da como resultado un daño superficial que se puede percibir bajo un microscopio óptico. El umbral de formación de plasma se determina detectando el inicio de un destello violeta brillante desde el punto irradiado (Vorobyev et al 2006) utilizando un fotomultiplicador (PMT) con un filtro que bloquea longitudes de onda mayores de 0,45 μm. Los metales estudiados son plata y molibdeno cuyas muestras son en forma de placas de 1 - 1.5 mm de espesor, las cuales se sometieron a un proceso de pulido (0.5 mm de tamaño de grano del abrasivo empleado) para obtener una superficie plana con un grado de rugosidad mínimo. Se busca tener muestras con superficies ópticamente planas, sin embargo, esto requiere procesos especializados que suelen ser muy costosos.

Antes de la exposición de nuestras muestras a la irradiación con láser, medimos su reflectividad a temperatura ambiente en el Nd: YAG láser de longitud de onda de 1,06 μm usando un espectrofotómetro Perkin-Elmer Lambda 900. Estos valores de reflectividad se miden 0,7 y 0,75 para el Sn y Mg, respectivamente. Para la caracterización de los defectos en la superficie estructural de las muestras pulidas mecánicamente, utilizamos un microscopio electrónico de barrido (SEM).

Resultados y discusión

La reflectividad total en función de la fluencia láser en la ablación de plata y molibdeno en el aire a la presión atmosférica se muestra en la Fig. 2. Se ve que la reflectividad de los metales estudiados permanece constante a bajas fluencias láser. A estas bajas fluencias, la superficie irradiada no sufre ningún daño superficial y los valores de reflectividad son 0,92 y 0,62 para plata y molibdeno, respectivamente. Estos valores de reflectividad concuerdan con los valores de referencias disponibles de reflectividad a temperatura ambiente para superficies pulidas mecánicamente (Kaye et al 1956, Touloukian, 1970)

Los gráficos de $R(F)$ en la Fig. 2 muestran que la reflectividad comienza a disminuir rápidamente al alcanzar un umbral de fluencia de 3,3 y 2,4 J/cm² para plata y molibdeno, respectivamente. Estas fluencias de umbral provocan fuerte caída de reflectancia y coinciden con los umbrales de formación de plasma medidos en el experimento. En nuestro estudio, los umbrales de formación de plasma promediados en diez mediciones resultaron ser de 3,2 y 2,5 J/cm² para plata y molibdeno, respectivamente. Se encontró que los valores del umbral de daño eran solo ligeramente más bajos que los de la caída de la reflectividad. Como se puede ver en la Fig. 2, a medida que la fluencia del láser aumenta aún más, la reflectividad cae (a aproximadamente 0,17 y 0,11 para plata y molibdeno, respectivamente) y luego permanece sin cambios con una fluencia cada vez mayor.

Las observaciones anteriores indican la correlación entre la caída de reflectividad y la formación de plasma. En general, la reducción de la reflectividad puede deberse a la dependencia de la temperatura de Drude de las constantes ópticas y la absorción de la luz láser en un plasma inducido por láser.

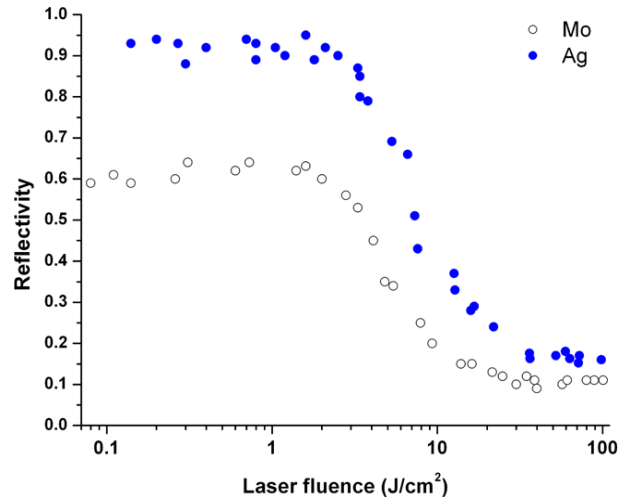


Figura 2. La reflectividad total de plata y molibdeno en función de la fluencia del láser para la ablación en el aire 1-atm.

Para determinar el papel de la dependencia de la temperatura de Drude de las constantes ópticas en la reflectividad, calculamos la temperatura superficial, T_{surf} , de las muestras en las fluencias umbral de formación de plasma utilizando la siguiente fórmula (Ready, 1971)

$$T_{surf}(t) = \frac{(1-R)\sqrt{a}}{k\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{I(t-\tau)}{\sqrt{\tau}} d\tau + T_0$$

donde R es la reflectividad, a es la difusión térmica, k es la conductividad térmica, I es la intensidad de la luz incidente, t es el tiempo, T_0 es la temperatura inicial, y τ es la variable de integración.

Los valores utilizados para calcular T_{surf} para Ag son ($R = 0.92$, $k = 410 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, $a = 1.696 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$) y para Mo ($R = 0.62$, $k = 135 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, $a = 5.263 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$). Las gráficas de la temperatura superficial calculadas usando la fórmula se muestran en la Fig. 3, donde se observa la T_{surf} máxima alrededor de 305 and 1865 °C para plata y molibdeno respectivamente. Estos valores máximos de temperatura superficial calculados en el umbral de daño de la fluencia del láser son significativamente menores que el punto de fusión de los metales estudiados (962 y 2617 °C para plata y molibdeno, respectivamente). Para averiguar el papel de la dependencia de la temperatura de las constantes ópticas en la reflectividad, calculamos la temperatura superficial, T_{surf} , de las muestras en las fluencias umbral de formación de plasma utilizando la siguiente fórmula derivada de la Ref. (Ready, 1971).

El modelado de la dependencia de la temperatura de la reflectividad de la plata (Ujihara et al 1972) mostró que la reflectividad de la plata disminuye ligeramente a medida que la temperatura aumenta hasta el punto de fusión.

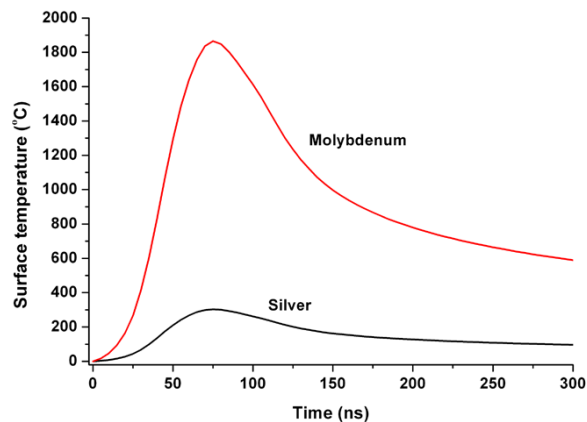


Figura 3. La temperatura de la superficie computarizada de muestras de Mo y Ag en función del tiempo a la fluencia del láser del umbral de formación de plasma.

Por lo tanto, la fuerte caída de reflectividad observada en nuestro estudio no puede explicarse por la dependencia de las propiedades ópticas de la temperatura. Observamos que los umbrales de formación de plasma de los metales estudiados están muy cerca de sus umbrales de caída de reflectividad y esto nos lleva a creer que la caída de reflectividad observada está asociada con un efecto de aparición de la pluma de plasma. El hecho que la formación de plasma se produzca en nuestro experimento a una temperatura superficial baja indica que las imperfecciones de la superficie de la muestra juegan un papel importante en la inducción de una ruptura óptica.

Por ejemplo, los defectos micro/nanoestructurales de la superficie comúnmente presentes en las superficies pulidas mecánicamente pueden calentarse localmente a una temperatura alta debido a la absorción plasmónica (Vorobyev et al 2005, 2008, Eversole et al, 2007) y al nanoenfoco plasmónico (Tan y Gramotnev 2011). Estos "nanopuntos calientes" en la superficie fría (en promedio) pueden ser fuentes tanto de especies ionizadas térmicamente como de electrones emitidos termiónicamente, que debido a la aceleración a través del mecanismo de bremsstrahlung inverso pueden desencadenar una falla óptica de avalancha de aire.

Cuando el plasma se forma frente a la muestra irradiada, la reflexión y absorción de la luz láser por parte de la muestra cambia drásticamente debido a la absorción de la luz láser en el plasma. Para la ablación en el gas de fondo, la reflexión/absorción de la energía láser por parte de la muestra es más complicada que en el vacío debido a la generación de ondas de absorción asistidas por láser (onda de combustión asistida por láser y onda de detonación asistida por láser) (Radziemski et al 1989, Wen et al 2007). En estas condiciones, la reflexión del rayo del láser se produce desde un sistema de plasma de la muestra (Vorobyev et al 1985). Suponiendo una dispersión de luz láser insignificante de las partículas expulsadas de la muestra y reflexiones insignificantes en los límites aire/aire-plasma y aire-plasma/vapor-plasma, la reflexión del rayo láser ocurrirá como se muestra esquemáticamente en la Fig. 4. Aunque el plasma reduce la energía láser que llega a la superficie de la muestra, puede contribuir a la deposición de energía en la muestra a través de la transferencia de una fracción de su energía térmica almacenada a la muestra. (Vorobyev et al 1985, 2006, Bulgakova et al, 2008).

Previamente, se han desarrollado una serie de modelos teóricos que incluyen la absorción de radiación láser del plasma producido por ablación del láser en vacío y en aire (Amoruso, 1999, Bulgakov et al 1999, Bulgakova et al, 2001, 2004, Chen et al, 2005).

Sin embargo, todavía falta una comprensión satisfactoria de la reflexión/absorción de la energía láser y los valores de la energía láser absorbidos por la muestra, siguen siendo unos parámetros de elección intuitiva. Creemos que nuestros datos experimentales pueden ser útiles para seguir avanzando en los modelos teóricos de la ablación con láser de nanosegundos.

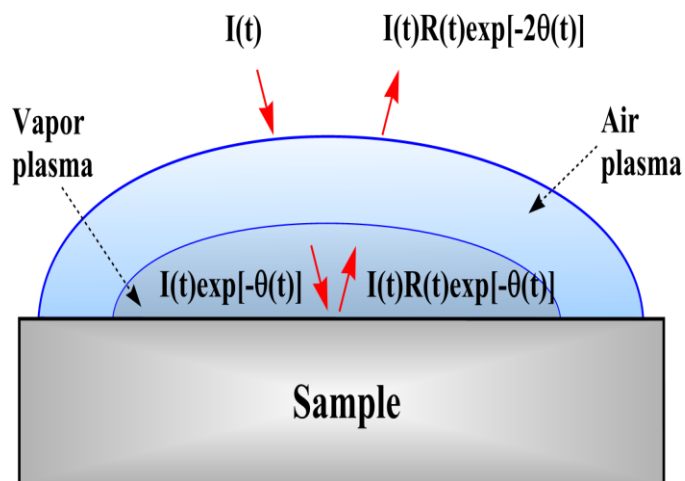


Figura 4. Reflejo del pulso de láser desde el sistema muestra-plasma: $I(t)$ es potencia del pulso de láser incidente; $I(t)\exp[-\theta(t)]$ es la potencia de impulso láser que llega a la superficie de la muestra, aquí $\theta(t)$ es el espesor óptico total del plasma; $I(t)R(t)\exp[-\theta(t)]$ es la potencia de impulso láser reflejado por la superficie de la muestra; $I(t)R(t)\exp[-2\theta(t)]$ es la potencia del pulso láser que sale del sistema muestra-plasma.

Conclusiones

En este trabajo estudiamos experimentalmente la reflectividad total de las muestras de Mo y Ag mecánicamente pulidas en régimen de ablación por pulsos de láser Nd:YAG de nanosegundos, en el aire a la presión

atmosférica. Parámetros de la fluencia del láser se establecen en el rango de 0,1–100 J/cm². Nuestro experimento muestra que, a fluencias del láser por debajo de los umbrales de formación de plasma, la reflectividad de los metales estudiados permanece virtualmente igual a los valores de reflectividad a temperatura ambiente para superficies pulidas mecánicamente. La reflectividad total de los metales estudiados comienza a caer al alcanzar valores de la fluencia láser del umbral de formación de plasma. Con el aumento de la fluencia del láser por encima del umbral de formación de la plasma, la reflectividad cae bruscamente a un valor bajo (alrededor de 0,17 y 0,11 para la plata y el molibdeno, respectivamente) y luego permanece sin cambios con el aumento adicional de la fluencia del láser. El cálculo de la temperatura de la superficie irradiada en la fluencia del umbral de formación de plasma muestra que la temperatura de la superficie está sustancialmente por debajo del punto de fusión, lo que indica un papel importante de los defectos nanoestructurales de la superficie en la formación de plasma en la muestra real debido a su mayor calentamiento causado por tanto la absorción plasmónica como por el nanoenfoco plasmónico.

Referencias

- Amoruso S., "Modeling of UV pulsed-laser ablation of metallic targets," *Appl. Phys., A Mater. Sci. Process.* 69(3), 323–332 (1999).
- Ashfold, M., Claeysens, F., Fuge, G., & Henley, S. (2004). *Pulsed Laser Ablation and Deposition of Thin Films*. Chemical Society Reviews, 33, 23-31. doi:10.1039/b207644f
- Basov N.G, Boiko V.A, Krokhin O.N, Semenov O.G, Sklizkov G.V., Reduction of reflection coefficient for intense laser radiation of solid surfaces, *Sov. Phys. – Tech. Phys.* 13 (1969) 1581-1582.
- Benavides O., L. de la Cruz May, Flores Gil A., A comparative study on reflection of nanosecond Nd-YAG laser pulses in ablation of metals in air and in vacuum. *Opt.Express* 21 (2013) 13068-13073.
- Benavides O., L. de la Cruz May, Flores Gil A., Lugo J.A. Jimenez, Experimental study on reflection of high-intensity nanosecond Nd:YAG laser pulses in ablation of metals, *Opt. Lasers Eng.* 68 (2015) 83–86.
- Bonch-Bruevich A. M., Y. A. Imas, G. S. Romanov, M. N. Libenson, and L. N. Mal'tsev, "Effect of a laser pulse on the reflecting power of a metal," *Sov. Phys. Tech. Phys.* 13(5), 640–643 (1968).
- Bulgakov A.V. and N. M. Bulgakova, "Thermal model of pulsed laser ablation under the conditions of formation and heating of a radiation-absorbing plasma," *Quantum Electron.* 29(5), 433–437 (1999).
- Bulgakova N.M, A. V. Bulgakov; "Pulsed laser ablation of solids: transition from normal vaporization to phase explosion," *Appl. Phys., A Mater. Sci. Process.* 73(2), 199–208 (2001).
- Bulgakova N.M., A. V. Bulgakov, and L. P. Babich, "Energy balance of pulsed laser ablation: thermal model revised," *Appl. Phys., A Mater. Sci. Process.* 79(4–6), 1323–1326 (2004).
- Bulgakova N.M., V. P. Zhukov, A. Y. Vorobyev, and C. Guo, "Modeling of residual thermal effect in femtosecond laser ablation of metals. Role of gas environment," *Appl. Phys., A Mater. Sci. Process.* 92(4), 883–889 (2008).
- Chen Z. and A. Bogaerts, "Laser ablation of Cu and plume expansion into 1 atm ambient gas," *J. Appl. Phys.* 97(6), 063305 (2005).
- Chrisey D.B., Hubler G.K., editors, *Pulsed Laser Deposition of Thin Films*, John Wiley & Sons, New York, 1994.
- Eversole D, B. Luk'yanchuk, and A. Ben-Yakar, "Plasmonic laser nanoablation of silicon by the scattering of femtosecond pulses near gold nanospheres," *Appl. Phys., A Mater. Sci. Process.* 89(2), 283–291 (2007).
- György, E., Pérez, A., Pérez Del Pino, A., Serra, P., & Morenza, J. (2004). Influence of the ambient gas in laser structuring of the titanium surface. *Surface and Coatings Technology*, 187, 245-249. doi:10.1016/j.surfcoat.2004.03.015
- Hendow, S. T., & Shakir, S. A. (2010). Structuring materials with nanosecond laser pulses. *Optics Express*, 18(10), 10188-10199. doi:10.1364/OE.18.010188
- Kaye, G.W. T.H. Laby, *Tables of Physical and Chemical Constants*, 11th edn. (Longmans, London, New York 1956)
- Lazarus, N., Smith, G. L., & Dickey, M. D. (2019). Self-Folding Metal Origami. *Advanced Intelligent Systems*, 1(7), 1900059. doi: <https://doi.org/10.1002/aisy.201900059>
- Ocaña, J. L., R, J., & García-Ballesteros, J. J. (2016). Direct generation of superhydrophobic microstructures in metals by UV laser sources in the nanosecond regime. *Advanced Optical Technologies*, 5. doi:10.1515/aot-2016-0002
- Pedraza, A. J., Fowlkes, J. D., & Guan, Y. F. (2003). Surface nanostructuring of silicon. *Applied Physics A*, 77(2), 277-284. doi:10.1007/s00339-003-2113-9
- Radziemski L.J. and D. A. Cremers, eds., *Laser-Induced Plasmas and Applications* (Marcel Dekker, Inc., 1989).

Ready J.R, Effects of High-Power Laser Radiation, Academic Press, New York, 1971.

Russo, R. E., Mao, X. L., Borisov, O. V., & Liu, H. (2000). Influence of wavelength on fractionation in laser ablation ICP-MS. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 15(9), 1115-1120. doi:10.1039/B004243I

Ta, D.V., Dunn, A, Wasley, TJ et al. (5 more authors) (2015) Nanosecond laser textured superhydrophobic metallic surfaces and their chemical sensing applications. *Applied Surface Science*, 357. pp. 248-254. ISSN 0169-4332

Tan S.J. and D. K. Gramotnev, "Heating effects in nanofocusing metal wedges," *J. Appl. Phys.* 110(3), 034310 (2011).

Tang, G., Hourd, A. C., & Abdolvand, A. (2012). Nanosecond pulsed laser blackening of copper. *Applied Physics Letters*, 101(23), 231902. doi:10.1063/1.4769215

Touloukian, Y.S., D.P. De Witt (eds.), Thermophysical properties of matter. Thermal radiative properties, Vol. 7, (IFI/Plenum, New York-Washington 1970)

Ujihara, K. (1972). Reflectivity of Metals at High Temperatures. *Journal of Applied Physics*, 43(5), 2376-2383. doi:10.1063/1.1661506

Vorob'ev, A.Y. "Reflection of the pulsed ruby laser radiation by a copper target in air and in vacuum," *Sov. J. Quantum Electron.* 15(4), 490-493 (1985).

Vorobyev A.Y. and C. Guo, "Reflection of femtosecond laser light in multipulse ablation of metals," *J. Appl. Phys.* 110(4), 043102 (2011).

Vorobyev, A. Y., Kuzmichev, V. M., Kokody, N. G., Kohns, P., Dai, J., & Guo, C. (2006). Residual thermal effects in Al following single ns- and fs-laser pulse ablation. *Applied Physics A*, 82(2), 357-362. doi:10.1007/s00339-005-3412-0

Vorobyev A.Y. and C. Guo, "Enhanced absorptance of gold following multi-pulse femtosecond laser ablation," *Phys. Rev. B* 72(19), 195422 (2005).

Vorobyev A.V. and C. Guo, "Femtosecond laser blackening of platinum," *J. Appl. Phys.* 104(5), 053516 (2008).

Wang, Z. B., Hong, M. H., Luk'yanchuk, B. S., Huang, S. M., Wang, Q. F., Shi, L. P., & Chong, T. C. (2004). Parallel nanostructuring of GeSbTe film with particle mask. *Applied Physics A*, 79(4), 1603-1606. doi:10.1007/s00339-004-2860-2

Wen S.B., X. Mao, R. Greif, and R. E. Russo, "Laser ablation induced vapor plume expansion into a background gas. II. Experimental analysis," *J. Appl. Phys.* 101(2), 023115 (2007).

Zorba, V., Boukos, N., Zergioti, I., & Fotakis, C. (2008). Ultraviolet femtosecond, picosecond and nanosecond laser microstructuring of silicon: structural and optical properties. *Applied Optics*, 47(11), 1846-1850. doi:10.1364/AO.47.001846

Fertilización de *Lisianthus (Eustoma grandiflorum (raf.) shriners)* bajo Condiciones de Invernadero

Jorge Luis Chi Pérez¹, Dr. Eduardo Villanueva Couoh², Dr. Oscar Antonio Palma Gamboa³ Dra. Martha Rocío Ceballos Hernández⁴, Ing. Geovani Ayora Ricalde⁵.

Resumen- El presente trabajo de investigación se realizó en el área de producción ornamental del Instituto Tecnológico de Conkal. El objetivo fue determinar una solución nutritiva para *eustoma grandiflorum (raf.) shriners*, muy apreciada como flor de corte y poco explotada en Yucatán. Para ello se evaluaron cuatro dosis de N-P-K (00-00-00 mg L⁻¹, 250-60-120 mg L⁻¹, 175-42-84 mg L⁻¹, 125-30-60 mg L⁻¹). Los tratamientos fueron establecidos en un diseño de bloques completamente al azar acompañado de una prueba de comparación de medias de Tukey (P=0.05). Se evaluaron la altura, diámetro de tallo, materia fresca, materia seca y área foliar. Las plantas crecieron y se desarrollaron en un tiempo de 55 DDT con las dosis de fertilización 250-60-120 y 175-42-84 de N-P-K mg L⁻¹ aproximadamente un 45% más rápido.

Palabras clave- Fertilización, dosis, *Lisianthus*, *eustoma*, ornamentales.

Introducción

En México, la actividad ornamental se presenta como una alternativa rentable debido al incremento en la demanda nacional e internacional (Osorio, 2016). Los estados más importantes en producción de ornamentales son: Michoacán, Morelos, Puebla, Veracruz y Estado de México. La superficie nacional de cultivo es de 15 mil 221 hectáreas, de las cuales aproximadamente 7 mil 074 hectáreas se encuentran en el Estado de México, mientras que la producción anual es de 5 mil millones 254 tallos de corte (en gruesas, manojos, y macetas). El cultivo de especies vegetales en invernadero es un área que se encuentra en pleno crecimiento en México. El cultivo de hortalizas y flores en invernadero permite aumentar la cantidad y calidad de las cosechas ya que es posible incrementar la densidad de población y la tasa de crecimiento de las plantas (Paz, 2009).

Entre las variedades de flores para corte, la *Eustoma grandiflorum* es una planta de gran valor ornamental que está siendo introducida en los mercados internacionales con gran aceptación comercial gracias a los sucesivos programas de mejora para la obtención de híbridos como lo mencionan Mazuela *et al.*, 2007. El interés actual de la producción de esta especie es debido principalmente a la gran diversidad de colores de las flores y la alta productividad según el estudio de Fox, 1998. La *Eustoma grandiflorum* es considerada como una especie de alto potencial económico para el mercado nacional e internacional, destacando como ya se ha mencionado, su belleza y gran variedad de colores (ver figura 1).

Una de las principales problemáticas que se presentan durante la producción de *Eustoma grandiflorum* en el estado de Yucatán bajo condiciones protegidas es durante el proceso de fertilización, ya que se usan recomendaciones de otros países y por lo tanto existe la tendencia a realizar aplicaciones en cantidades excesivas o insuficientes, generando un desequilibrio en la nutrición, lo que aunado a las condiciones climáticas del Estado de Yucatán (temperatura, humedad, medio ambiente etc.), hace que las flores producidas sean de baja calidad, a diferencia de las de otros estados o países en los que también se tienen áreas de producción.

¹ Jorge Luis Chi Pérez es estudiante egresado de la Ingeniería en Agronomía del TECNM Campus Conkal, Yucatán. 118800243@conkal.tecnm.mx.

² El Dr. Eduardo Villanueva Couoh es Profesor de la Ingeniería en Agronomía del TECNM Campus Conkal, Yucatán. eduardo.cv@conkal.tecnm.mx

³ El Dr. Oscar Antonio Palma Gamboa es Profesor de la Ingeniería en Agronomía del TECNM Campus Conkal, Yucatán. oscar.pg@conkal.tecnm.mx (autor correspondiente)

⁴ La Dra. Martha Rocío Ceballos Hernández es Profesora de la Ingeniería en Tecnologías de la Información y Comunicación del TECNM Campus Conkal, Yucatán. martha.ch@conkal.tecnm.mx

⁵ Geovanny Ayora Ricalde es Profesor de la Ingeniería en Agronomía del TECNM Campus Conkal, Yucatán. geovanny.ar@conkal.tecnm.mx



Figura 1. Flor de *Eustoma grandiflorum*.

Descripción del método

El experimento se estableció en el área de plantas ornamentales perteneciente al Instituto Tecnológico de Conkal, Yucatán, las coordenadas geográficas son: 19° 20' latitud Norte y 20° 37' longitud Oeste del meridiano de Greenwich, con altitud de 10 msnm y temperatura media anual de 26.6 °C, máximas de 35 °C y mínimas de 17 °C, con una precipitación media anual de 700 mm. El experimento se estableció en un invernadero tipo túnel con apertura cenital y plástico con 50% de sombra.

El material vegetativo que fue utilizado en este experimento consistió en plántulas de *Eustoma grandiflorum* (*raf.*) *shriners*, variedad “Mariachi Blanco” germinadas en charolas de plástico en el Centro de Desarrollo Tecnológico Lol Pak'al SPR de Mérida, Yucatán, con una altura de promedio de 9 centímetros (ver figura 2).



Figura 2. Plántulas de *Estoma grandiflorum* cv. Mariachi blanco.

El experimento se estableció en un diseño de bloques completamente al azar. Se utilizaron cuatro tratamientos de dosis de fertilización incluyendo al testigo, de las cuales se seleccionaron al azar 5 plantas como unidades experimentales. Dichos tratamientos consistieron en diferentes dosis de N-P-K (0-0-0, 250-60-120, 175-42-84, 125-30-60 mg L⁻¹).

Los tratamientos de fertilización se determinaron con base en el requerimiento de la demanda del cultivo de acuerdo con Alvarado *et al*, 2018. Para la preparación de las soluciones de fertirriego para los diferentes tratamientos se utilizaron como fuentes de fertilizantes: Nitrato de calcio, Nitrato de potasio, Sulfato de potasio, Sulfato de magnesio y Fosfato monoamónico y agua de pozo que es apta para riego, su calidad fue determinada mediante un análisis de agua en laboratorio y considerada para los cálculos para la preparación de las soluciones.

Los tratamientos de fertilización fueron suministrados de manera manual con las dosis propuestas, proporcionándose el riego mediante goteo en cintilla como se puede ver en la figura 3. El pH de la solución se ajustó a 5.8-6.0 con ácido fosfórico antes de la aplicación del riego.



Figura 3. Riego en *Eustoma grandiflorum* con cintilla.

Las variables evaluadas fueron: altura de la planta (cm), medida desde la base del tallo hasta el ápice final de la planta usando para ello un flexómetro, el diámetro del tallo principal (mm) medido con un vernier digital (estos controles se realizaron cada ocho días como se indica en las figuras 4 y 5), el área foliar (cm²) a través de un integrador de área foliar LI-COR LI-3100C, la materia fresca y seca (g) del follaje (donde el secado del follaje se hizo en una estufa Felisa por tres días a 60 °C hasta peso constante), el pesado de materia fresca y seca se hizo con una balanza analítica digital Explorer Pro, el volumen de raíz (cm³) medido con base en el volumen de agua desplazado por la raíz en una probeta.



Figura 4. Medición del diámetro de la planta.



Figura 5. Medición de la altura de la planta.

Los resultados fueron analizados mediante el análisis de varianza y comparación de medias de Tukey ($P=0.05$) con el paquete de INFOSTAT.

Comentarios finales

Resumen de resultados

Altura de la planta: El valor más alto fue de 58.40 cm de altura, este valor se obtuvo con la dosis de fertirriego 250-60-120 mg L⁻¹ de N-P-K a los 55 DDT, en los diferentes tratamientos no se encontró una diferencia significativa con el testigo (ver Tabla 1).

El diámetro del tallo al final del experimento (55 DDT) no se encontró una diferencia significativa entre los tratamientos incluyendo al testigo como se visualiza en la Tabla 1. El valor más alto del diámetro a los 55 DDT fue de 3.60 mm este valor se obtuvo en el tratamiento de fertirriego con una dosis de 250-60-120 de N-P-K mg L⁻¹.

Tratamiento	Dosis (mg L ⁻¹)	Altura de la planta (cm)	Diámetro del tallo (mm)
1	00-00-00	54.15 a	3.55 a
2	250-60-120	58.40 a	3.60 a
3	175-42-84	57.05 a	3.41 a
4	125-30-60	54.10 a	3.37 a
	DMS	6.49563	0.28135

Tabla 1. Dosis de soluciones nutritivas en el cultivo de Lisianthus cv. “Mariachi blanco” a los 55 DDT. Medias con una letra común no son significativamente diferentes Tukey ($p > 0.05$)

Los resultados de la materia fresca, seca, volumen de raíz y área foliar en diferentes dosis de fertilización se presentan en la Tabla 2.

En la evaluación del peso de la materia fresca entre las diferentes dosis de fertilización no se encontró una diferencia significativa entre los tratamientos, se obtuvo un peso mayor a los 55 DDT teniendo un valor de 20.23g correspondiente a la dosis 250-60-120 de N-P-K mg L⁻¹ con una diferencia de un 2.91% mayor con respecto relación al testigo 00-00-00 N-P-K mg L⁻¹.

El peso de materia seca de la *Eustoma grandiflorum* con respecto a diferentes dosis se encontró una diferencia significativa entre las dosis con 00-00-00 y 175-42-84 mg L⁻¹ diferenciados con un 20.7% entre estos tratamientos, el peso de materia seca más alto que se obtuvo fue de 3.85 gramos que corresponde al testigo, por lo consiguiente los tratamientos con fertilización no superaron al testigo en materia seca.

En cuanto al volumen de raíz entre los diferentes tratamientos de fertilización no se encontró una diferencia significativa, el valor del volumen de raíz más alto fue de 0.68 cm³ este valor corresponde al tratamiento que contiene 125-30-60 de N-P-K mg L⁻¹ superando al testigo en un porcentaje de un 30.8%.

En la variable área foliar de la planta *Eustoma grandiflorum* con diferentes dosis de fertilización no se encontró diferencias significativas entre los tratamientos, el valor más alto que se obtuvo fue de 336.87 cm² superando al testigo en un porcentaje de 12.23%, el valor más alto se obtuvo con el tratamiento de fertilización que contiene 250-60-120 de N-P-K mg L⁻¹.

Dosis (mg L ⁻¹)	Materia fresca (g)	Materia seca (g)	Volumen de raíz (cm ³)	Área foliar (cm ²)
00-00-00	19.64 a	3.85 b	0.47 a	295.67 a
250-60-120	20.23 a	3.29 ab	0.38 a	336.87 a
175-42-84	16.45 a	3.05 a	0.56 a	324.00 a
125-30-60	17.22 a	3.25 ab	0.68 a	295.61 a
DMS	4.77127	0.75219	0.41136	83.06851

Tabla 2. Efecto de diferentes dosis de fertilización en el cultivo de *Lisianthus* cv. “Mariachi blanco” en invernadero. Medias con una letra común no son significativamente diferentes Tukey ($p > 0.05$).

Conclusiones

De acuerdo con los resultados de los datos analizados en el presente estudio se puede concluir que los mejores resultados en las variables altura de la planta, diámetro del tallo, peso materia fresca, seca y área foliar de la planta se obtuvieron con las dosis de fertilización con 250-60-120 de N-P-K mg L⁻¹, con las dosis menores a la señalada se obtuvieron resultados menores. Cabe indicar que con la dosis de fertilización se obtuvo una flor de buena calidad a los 55 DDT, lo que es un 45% más rápido que lo señalado en los manuales de transferencia tecnológica.

Recomendaciones

De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación se recomienda que para el cultivo de *Eustoma grandiflorum* cv. “Mariachi blanco” para flor de corte en invernadero en el estado de Yucatán se utilicen dosis de fertilización 250-60-120 de N-P-K mg L⁻¹.

Referencias

- Alvarado, C.D., Valdez, A. L.A., Cadena, Z. M. 2018. Crecimiento y programación de fertilización para *lisianthus* en base a la acumulación nutrimental. *Agroproductividad*: Vol. 11, N. 8, agosto 2018. Pp. 3-11.
- Fox, R. 1998. *Lisianthus-a specialty cut flower*. *Practical Hydroponics & Greenhouses*. pp. 43-51.
- Mazuela, P.; De la Riva, F.; Urrestarazu, M. 2007. Cultivo de *lisianthus* en perlita. *Planta flor*. N° 124. 92-94.
- Osorio, R.C (2016). Época de producción, solución nutritiva y cambios fisiológicos en *Lisianthus* (*Eustoma grandiflorum*). Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 93 p.
- Paz, C.C (2009). Evaluación de la Relación NO₃⁻ : NH₄⁺ en *Lisianthus* (*Eustoma grandiflorum* Raf.) Cultivado en Invernadero. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 77 p.

Zinc-Exchanged LTA Zeolite for the Conversion of Benzene to Phenol

Jesús Isaías De León Ramírez¹ Víctor Alfredo Reyes Villegas²Vitalii Petranovski Pavlovish³ Fernando Chávez Rivas⁴ Rosario Isidro Yocupicio Gaxiola⁵Verónica González Torres⁶

Abstract

Human and industrial waste generates polluting compounds that can be toxic to humans and ecosystems. Among these pollutants, we can find that have benzene. On the other hand, benzene is not all bad, it can be used as a precursor for other aggregated value compounds such as phenol. For benzene degradation, an LTA zeolite and modified zeolite were used. They were characterized by Scanning Electron Microscopy (SEM) with gold sputtering coating, Raman spectroscopy and X-ray diffraction. For the Catalytic evaluation of benzene, a reaction at general conditions was performed and for the detection of phenolic compounds, a quantitative colorimetric FeCl₃ test was performed detecting the phenolate Fe complex by UV-Vis spectrophotometry. The materials synthesized by the sol-gel method and subjected to ultrasound treatments to introduce zinc into the porous matrix show catalytic activity for the removal of benzene of more than 93 % in 30 minutes at 90 C°

Palabras clave— Benzene, Zeolite, Catalyst, Phenol, Ultrasound

Introduction

Human and industrial waste generate polluting compounds, that can be toxic to humans and the ecosystems in general. Among these pollutants we can find that have benzene, which according to a study conducted at the University of Messina, detected that the adverse effects that impact human health when exposed to benzene, include both acutely and chronically problems in the respiratory and hematopoietic systems [1]. The toxicity of benzene is not new and has been studied for more than 50 years. [2] The toxicity of benzene has been attributed not to the molecule, but to the different metabolites of benzene once absorbed and metabolized by biological organisms [3]. However, recent studies suggest that the metabolism of benzene by humans might be more complex than we previously thought, being correlated with cancer and many other problems when metabolized by humans [4]. On the other hand, benzene is not all bad, it can be used as a precursor for other aggregated value compounds such as phenol. Which is one of the most valuable organic intermediates for the manufacture of many chemical products. Several methods for the conversion of benzene to phenol have been developed, however, many of these exhibit low yields and/or are high energy consumption. The attempt to produce materials that can convert benzene has been growing, and matrix-supported materials have shown good results [5]. There are several methods of deposition of materials in structures, currently a method that has been booming, thanks to its easy preparation, being environmentally friendly, and being highly efficient because the energy supplied to the system forms cavitations that can help the nucleation of the particle are the ultrasound-assisted methods[6]. In this work, we evaluate the catalytic activity of zeolite LTA modified with Zn with an ultrasonic method for the partial oxidation of benzene to phenol. As well as the optimal conditions for the synthesis of phenol using benzene as the precursor, with a response surface methodology (RSM) considering the effect of three factors (catalyst concentration, reaction time and temperature).

Descripción del Método

Synthesis of zeolite A

The synthesis of zeolite A is explained in detail in the IZA Database, in brief, a solution of sodium hydroxide and sodium aluminate is prepared, then a sodium silicate solution is added to the previous solution. They are then

¹ MCS. Jesús Isaías De León Ramírez estudiante de Doctorado de *Centro de Nanociencias y Nanotecnología UNAM*, Ensenada, Baja California. Jesus.deleon@ens.cnyn.unam.mx

² MCS. Víctor Alfredo Reyes Villegas estudiante de Doctorado de *Centro de Nanociencias y Nanotecnología UNAM*, Ensenada, Baja California. vreyes@ens.cnyn.unam.mx

³ DR. Vitalii Petranovski Pavlovish profesor investigador de *Centro de Nanociencias y Nanotecnología UNAM*, Ensenada, Baja California, México Vitalii@ens.cnyn.unam.mx

⁴ DR. Fernando Chávez Rivas Profesor Investigador Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México. fchavezrivas5@gmail.com

⁵ DR. Rosario Isidro Yocupicio Gaxiola Profesor Investigador instituto tecnológico superior de Guasave, Guasave, Sinaloa, Mexico. ryocu@cnyn.unam.mx

⁶ DRA. Verónica González Torres profesor Investigador en Universidad Autónoma De Baja California, Tijuana, Baja California Mexico vgonzalez@uabc.edu.mx

homogenized and placed at 90°C during 4 hours for the crystallization step. The precipitated powder is decanted and dried. The obtained zeolite was modified by three different treatments:

(I) *Ion Exchange*

The ion Exchange was performed with a reflux method, where 1 g of zeolite and 2.4 g of zinc acetate were placed in a 1:20 volume for 24 hours.

(II) *Ultrasound Treatment*

The ultrasonic treatments were performed with unchanged LTA zeolite where ammonium hydroxide was placed with one gram of zeolite at a temperature of 60 C° for 30 min.

(III) *Ultrasonic Assisted Zn deposition*

The deposition treatment was performed using a sol-gel method assisted by ultrasound, the zeolite was in a solution of ammonium hydroxide or hydrogen peroxide depending on the particle to be deposited, a known amount of zinc acetate was added and then subjected to an ultrasonic treatment for 30 min. at 60 C°, the gel was filtered and dried at room temperature.

Characterization

The materials were characterized by Scanning Electron Microscopy (SEM) with a gold coating by sputtering, Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS), UV-Vis diffuse reflectance spectroscopy, Fourier Transformed Infrared Spectroscopy (FTIR), Raman spectroscopy, and X-ray diffraction.

Benzene to phenol degradation

The screening for the catalytic activity of 10 mg of catalyst for the conversion of benzene to phenol was performed at 90° C, with 5,000 ppm of benzene for 60 minutes. The selected materials, which removed more benzene and produced more phenol, were analyzed with a 3 factorial (temperature, reaction time and catalyst concentration) with 3 levels (-1, 0, 1) response surface methodology (RSM) for optimization using the Design Expert software version 11.

The detection of phenol was carried out by UV-Vis spectroscopy, measuring at 428 nm the violet compound formed with the colorimetric assay when adding 1% ferric chloride.

Resultados y discusiones

Figure 1A shows diffractogram AZnO₂ (green color) the black dots show the JCPDS card of the LTA Zeolite we can observe that the peaks coincide in position in some planes we can observe displacements or changes in the intensities this may be due to the sites occupied by zinc and ZnO₂ in the cage of the LTA zeolite, *Jennifer E. Readman et.al* [7] described that the incorporation of zinc oxide clusters in the cage can cause minor deformations in the LTA zeolite cages which we can attribute to such displacements or changes in intensities that we are observing in our diffractograms. On the other hand, in Figure 1B shows the diffractogram of LTA zeolite exchanged with zinc, we can observe a decrease in intensity in LTA zeolite planes which indicates that zinc is occupying sites within the zeolite crystal structure [8]. The peak at 489 cm⁻¹ is related to the breathing vibration mode of the four-membered ring, 336 cm⁻¹ 6MR, 283 cm⁻¹ 8MR, 704 cm⁻¹ 4DR in the crystalline framework of zeolite LTA in the Raman spectra we present we can see a shift in the ring peaks which may suggest a deformation of the structure or the position of zinc in the ring which deforms the vibrational stretches characteristic for LTA zeolite [9], [10]. Figure 1E show structures larger than 1µm corresponding to the LTA zeolite with some smaller agglomerates or clusters that most probably could be some particles of zinc peroxide, Besides, the external surfaces of zeolite ZnA shows difference among them since it is not possible to observe the surface due to the high content of zinc.

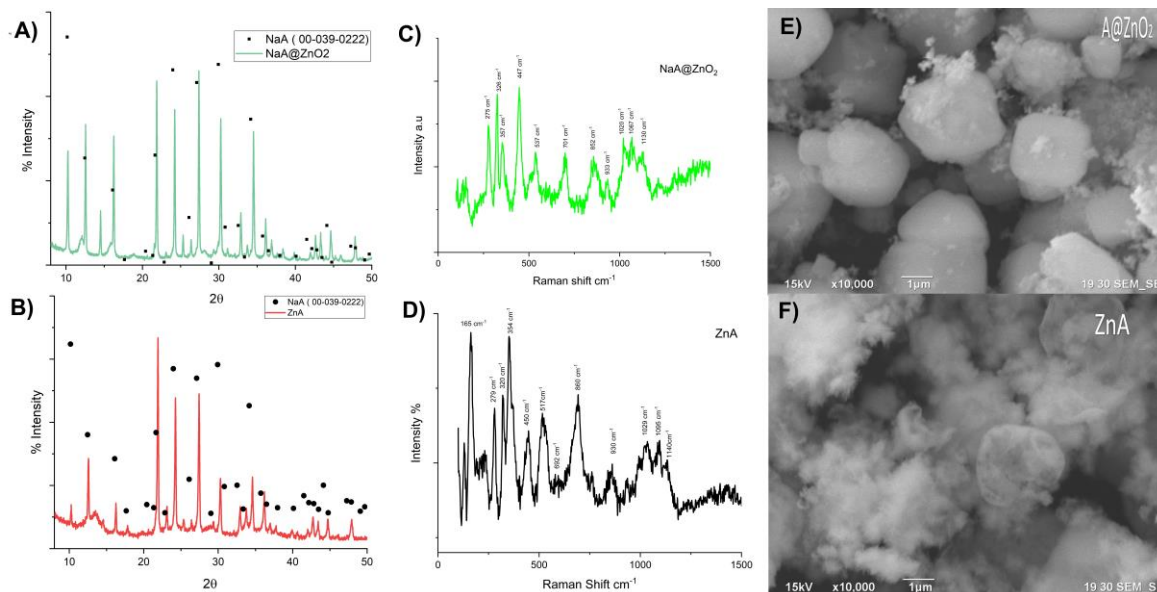


Figure 1: A) shows the diffractogram of AZnO₂ (green color) and the JCPDS points of card 00-039-0222, corresponding to zeolite A (black dots), B) shows the diffractogram of ZnA (red color) with the jcps (black dots) corresponding to zeolite A, C) and D) show the Raman spectra of AZnO₂ and ZnA respectively, E) and F) show SEM images of AZnO₂ and ZnA.

Conversion benzene to phenol.

Several factors can intervene in the conversion of benzene to phenol, which can modify the selectivity and the yield reaction, in this work we evaluated the catalytic activity of LTA treated with different treatments and depositions of zinc on the surface, considering the factors of material concentration, temperature and time. Figure 2 shows that the LTA zeolite (A) removed 84% of benzene, generating 121 ppm of phenol. However, when a larger cation is introduced to the Zeolite, in this case being an exchange of Na with Zn, the removal of benzene increases to 93%, producing a higher phenol yield, almost 6 times more than pristine LTA. *Gon Seo et al. (2013)*, suggests that cage size can affect the performance of a catalytic reaction in zeolites [11], which may explain this increase when a cation with different size is introduced in the LTA cages. On the other hand, this effect is not observed with the deposition of zinc (AZnO, AZnOH and AZnO₂) on the LTA surface, the removal of benzene has no apparent change, and there is a reduction in the selectivity for the yield of phenol. Mehmet Zahmakiran (2012) found that placing nanoparticles outside the surface of a zeolite can modify the cage [12]. When zinc species are deposited on the surface of ZnA (ZnAZnO, ZnAZnOH, ZnAZnO₂) no increase in the phenol yield with respect to ZnA, is observed. However, an increase in selectivity suggests that the amount of zinc present may influence the selectivity of the benzene to phenol reaction, especially when OH species are present (infrared data for OH not presented).

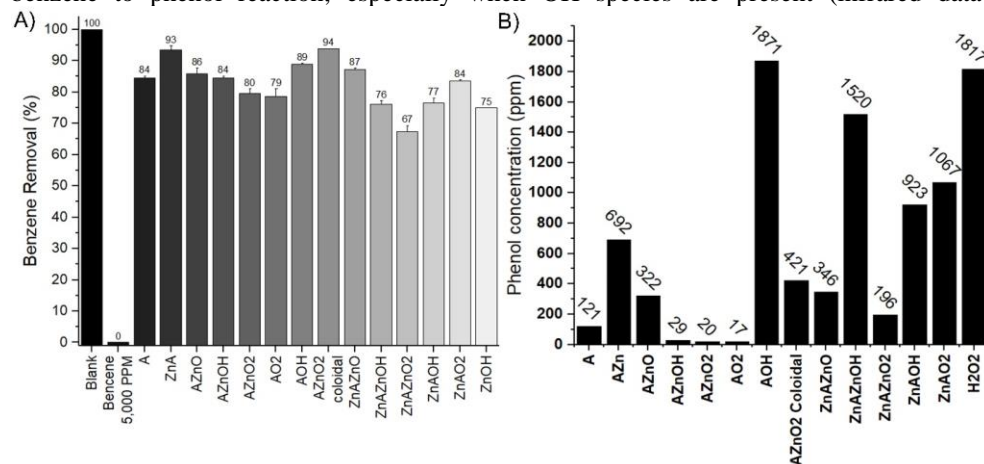


Figure 2: A) Benzene removal (%) and B) conversion of benzene to phenol in ppm (% of phenol yield)

An interesting effect was observed when LTA treated with ultrasound and ammonium hydroxide (AOH), generating a benzene removal of 89 % and a high selectivity for the conversion to phenol, producing 1,871 ppm. We believe that this treatment has a potential for generating a material with high selectivity for the conversion of benzene to phenol, this material is currently being studied but is out of the scope of this design. Which is evaluating the effect of Zn species in the partial oxidation of benzene to phenol. For these reasons the materials to work with were the ion exchanged zeolite, ZnA, and the zeolite treated with a colloidal suspension of ZnO₂ nanoparticles, AZnO₂ colloidal, according to the next considerations: benzene removal %, yield of phenol, less synthesis time and that they have Zn.

The optimization with the RSM, for the removal % of benzene was 6.4 mg of ZnA (Figure 3B) in a 5,000ppm solution of benzene, with temperature, time and there interactions (temperature and time) as significant factors ($p < 0.05$). As for the conversion of benzene to phenol (Figure 3A) we observe that for increasing the synthesis of phenol only temperature and time are significant factors, but not there interactions (Table 1). Meaning that this reaction is not sensitive to the amount of ZnA catalyst in solution. Making it an attractive material for commercial applications since we can control the outcome by adding certain amount of catalyst (no specific concentration) and only controlling the temperature and time.

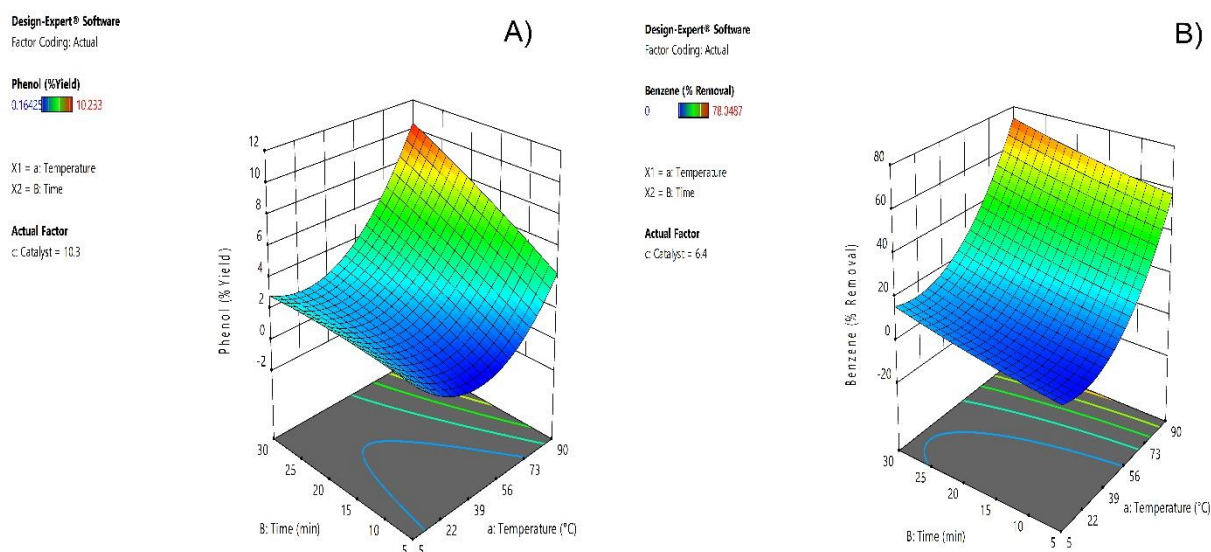


Figure 3: Response surface methodology 3D surface at a specific ZnA catalyst concentration and time vs temperature for the response of A) amount of benzene to phenol conversion and B) % removal of benzene

As for the AZnO₂ colloidal sample (Figure 4), the only factor with a significant effect for the % removal of benzene was time ($p=0.0012$) and for the % Yield of phenol all three factors have a significant effect: temperature ($p=0.0096$), time ($p=0.0079$) and catalyst concentration ($p=0.0079$). Hence, the complexity for this reaction is less, if we want to control the amount of removed benzene, we must specify only time and for the yield of phenol we have a linear relationship for the 3 factors at the tested levels, more of any factor will increase the amount of phenol. This could be due to the dispersion of the colloidal solution, since mass transfer is not having an effect for the removal of more benzene, the exact reaction mechanism needs to be elucidated to understand how increasing any of the three factors produces more phenol but does not affect the removal of benzene. This behavior is worth investigating in the future.

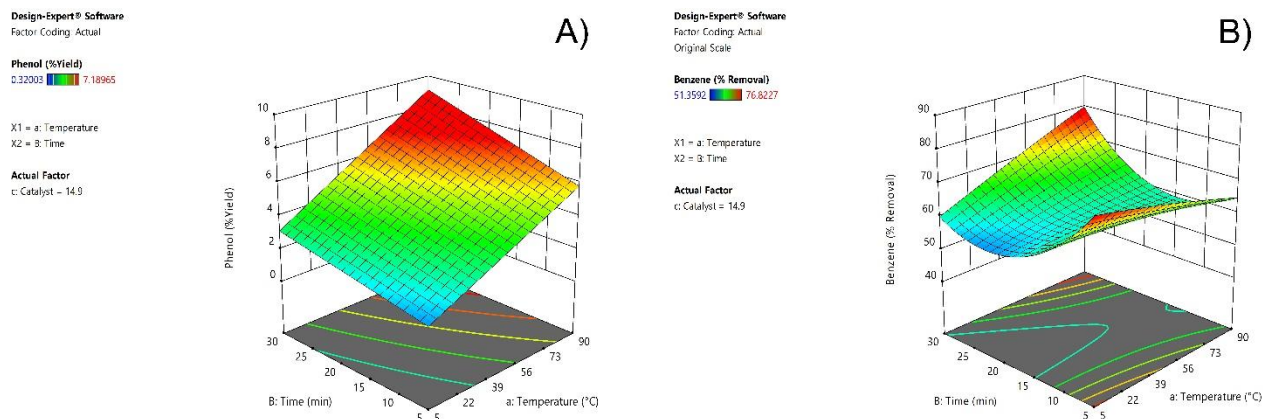


Figure 4: A) correspond to the selectivity of benzene to phenol transformation B) represents the benzene removal %, in both cases evaluating time with temperature.

All the graphs presented are at the most efficient conditions, were the highest % of removal of benzene and % yield of phenol was observed. In all the ANOVA regardless of the models and terms used (Table 1-4), the R^2 values are above 95 %, and were considered as significant values only those terms with a P value lower than (<0.05). Perhaps some terms do have an effect on the response and at different conditions are worth investigating.

Comentarios Finales

Resumen de resultados

The effect of different treatments for the modification of LTA zeolite with Zn has significant effects for the catalytic activity for the partial oxidation of benzene to phenol. The factors (temperature, catalyst concentration and reaction time) that were studied seen to have good prediction for the measured responses. The results emitted from this research experiment include the statistical analysis for the optimization models and 3D surface response graphs of the % of benzene removal and the selectivity for phenol.

Conclusiones

The sono-assited sol-gel synthesis of ZnO_2 nanoparticles and subsequent ultrasound treatment for the modification of LTA zeolite with these nanoparticles are an attractive alternative for the catalytic activity for the partial oxidation of benzene to phenol, removing more than 93 % of benzene in 30 minutes at 90 °C, with a linear relationship for the synthesis of phenol. This opens the door for future research, not only for the catalysis of oxidation of organic compounds with Zn species interacting with a zeolite matrix but also on the specific active sites, mechanism of reaction and reactions that can be catalyzed.

Referencias

- [1] R. Cordiano, V. Papa, N. Cicero, G. Spatari, A. Allegra, and S. Gangemi, "Effects of Benzene: Hematological and Hypersensitivity Manifestations in Resident Living in Oil Refinery Areas," *Toxics*, vol. 10, no. 11, p. 678, 2022, doi: 10.3390/toxics10110678.
- [2] D. V. Parke, "Personal reflections on 50 years of study of benzene toxicology," *Environ Health Perspect*, vol. 104, no. SUPPL. 6, pp. 1123–1128, 1996, doi: 10.1289/ehp.961041123.
- [3] C. Bleasdale *et al.*, "Chemistry of muconaldehydes of possible relevance to the toxicology of benzene," *Environ Health Perspect*, vol. 104, no. SUPPL. 6, pp. 1201–1209, 1996, doi: 10.1289/ehp.961041201.
- [4] B. T. Golding *et al.*, "Modeling the formation and reactions of benzene metabolites," *Chem Biol Interact*, vol. 184, no. 1–2, pp. 196–200, 2010, doi: 10.1016/j.cbi.2010.01.001.
- [5] J. Liu, H. Yin, Q. Nie, and S. Zou, "Highly Dispersed Vanadia Anchored on Protonated g-C3N4 as an Efficient and Selective Catalyst for the Hydroxylation of Benzene into Phenol," *Molecules*, vol. 27, no. 20, 2022, doi: 10.3390/molecules27206965.
- [6] T. Chave, A. Grunewald, A. Ayrat, P. Lacroix-Desmazes, and S. I. Nikitenko, "Sonochemical deposition of platinum nanoparticles on polymer beads and their transfer on the pore surface of a silica matrix," *J Colloid Interface Sci*, vol. 395, no. 1, pp. 81–84, Apr. 2013, doi: 10.1016/j.jcis.2012.12.029.
- [7] J. E. Readman, I. Gameson, J. A. Hriljac, P. P. Edwards, and P. A. Anderson, "Synthesis and structure of zinc oxide clusters encapsulated in zeolite LTA," *Chemical Communications*, no. 7, pp. 595–596, Apr. 2000, doi: 10.1039/b000579g.
- [8] H. K. Kartar Singh, Z. Amin, and S. E. Arshad, "Ion exchange capacity of zeolite A with zinc nitrate and its antimicrobial activity," in *Pure and Applied Chemistry*, Jan. 2021, vol. 93, no. 1, pp. 39–46. doi: 10.1515/pac-2019-0811.
- [9] P. K. Dutta and B. del Barco, "Raman Spectroscopy of Zeolite A: Influence of SVAI Ratio," 1988.
- [10] T. F. Chaves, F. L. F. Soares, D. Cardoso, and R. L. Carneiro, "Monitoring of the crystallization of zeolite LTA using Raman and chemometric tools," *Analyst*, vol. 140, no. 3, pp. 854–859, Feb. 2015, doi: 10.1039/c4an00913d.

- [11] G. Seo, J. H. Kim, and H. G. Jang, "Methanol-to-Olefin Conversion over Zeolite Catalysts: Active Intermediates and Deactivation," *Catalysis Surveys from Asia*, vol. 17, no. 3–4. pp. 103–118, Dec. 2013. doi: 10.1007/s10563-013-9157-4.
- [12] M. Zahmakiran, "Preparation and characterization of LTA-type zeolite framework dispersed ruthenium nanoparticles and their catalytic application in the hydrolytic dehydrogenation of ammonia–borane for efficient hydrogen generation," *Materials Science and Engineering: B*, vol. 177, no. 8, pp. 606–613, May 2012, doi: 10.1016/j.mseb.2012.03.003.

Apéndice ANOVA TABLES

Table 2: AZn, Phenol Yield ANOVA (REML)

Source	Term df	Error df	F-value	p-value		Fit Statistics			
						Std. Dev.	R ²	Adjusted R ²	C.V. %
Whole-plot	5	6.00	65.56	< 0.0001	significant	Mean	2.72	Adjusted R ²	0.9538
a-Temperature	1	6.00	128.09	< 0.0001		Std. Dev.	0.5755	R ²	0.9877
c-Catalyst	1	6.00	1.66	0.2451		Mean	26.74	Adjusted R ²	0.9835
ac	1	6.00	2.04	0.2027		C.V. %	14.32		
a ²	1	6.00	65.94	0.0002					
c ²	1	6.00	24.47	0.0026					
Subplot	4	6.00	30.93	0.0004	significant				
B-Time	1	6.00	77.38	0.0001					
aB	1	6.00	45.12	0.0005					
Bc	1	6.00	1.76	0.2327					
B ²	1	6.00	0.2870	0.6114					

Table 1: AZn, Bencene Removal ANOVA (REML)

Source	Term df	Error df	F-value	p-value		Fit Statistics			
						Std. Dev.	R ²	Adjusted R ²	C.V. %
Whole-plot	5	1.54	57.45	0.0377	significant	Mean	26.74	Adjusted R ²	0.9835
a-Temperature	1	1.60	249.06	0.0096		Std. Dev.	3.83	R ²	0.9956
c-Catalyst	1	1.60	8.98	0.1246		Mean	26.74	Adjusted R ²	0.9835
ac	1	1.67	3.69	0.2188		C.V. %	14.32		
a ²	1	1.68	41.04	0.0356					
c ²	1	1.68	0.1880	0.7137					
Subplot	4	4.14	13.86	0.0117	significant				
B-Time	1	4.60	47.39	0.0014					
aB	1	4.12	0.6333	0.4695					
Bc	1	4.17	0.1339	0.7322					
B ²	1	4.17	0.4074	0.5567					

Table 4: AZnO₂ Coloidal, Bencene Removal Anova (REML)

Source	Term df	Error df	F-value	p-value		Fit Statistics			
						Std. Dev.	R ²	Adjusted R ²	C.V. %
Whole-plot	5	3.77	0.0357	0.9987	not significant	Mean	60.92	Adjusted R ²	0.9003
a-Temperature	1	1.93	0.0001	0.9942		Std. Dev.	3.29	R ²	0.9734
c-Catalyst	1	1.93	8.45	0.1050		Mean	60.92	Adjusted R ²	0.9003
ac	1	2.00	1.23	0.3832		C.V. %	5.41		
a ²	1	2.00	0.0023	0.9661					
c ²	1	2.01	1.83	0.3082					
Subplot	4	4.36	38.97	0.0012	significant				
B-Time	1	4.69	5.80	0.0643					
aB	1	4.35	67.13	0.0008					
Bc	1	4.38	0.2090	0.6693					
B ²	1	4.38	63.17	0.0009					

Table 3: AZnO₂ Coloidal, Phenol Yield Anova (REML)

Source	Term df	Error df	F-value	p-value		Fit Statistics			
						Std. Dev.	R ²	Adjusted R ²	C.V. %
Whole-plot	3	3.19	23.01	0.0118	significant	Mean	3.22	Adjusted R ²	0.9142
a-Temperature	1	3.14	32.19	0.0096		Std. Dev.	0.7895	R ²	0.9600
c-Catalyst	1	3.15	36.54	0.0079		Mean	3.22	Adjusted R ²	0.9142
ac	1	3.29	5.57	0.0917		C.V. %	24.52		
Subplot	3	4.77	6.54	0.0379	significant				
B-Time	1	5.16	17.66	0.0079					
aB	1	4.81	3.59	0.1188					
Bc	1	4.78	4.48	0.0905					

Matrices Capturantes de Moringa (*moringa oleifera*) de Sobrepasso en el Crecimiento de Corderos Destetados

José Alfonso López García MPA¹, Dra. Julieta Grajales Conesa²,
Dr. Víctor Jesús Albores Flores³, Dr. Eduardo Lozano Guzmán⁴, MB. María Guadalupe De Gyves Córdova⁵ y
Rodolfo Torres de los Santos⁶

Resumen—En este artículo se presentan los resultados de una investigación llevada a cabo en el rancho Independencia, Tapachula, Chiapas (14°42'55.98" N, 92°19'16.11" W) Se estudió como suplemento alimenticio el uso de matrices capturantes de sobrepasso fabricadas con alginato (2.0%) para la protección del material foliar de Moringa (*Moringa oleifera*). Se utilizaron 30 corderos (machos/hembras) destetados y desparasitados de la raza Pelibuey de edad de dos meses y un peso de 6±0.5 kg.; alojados en corraletas donde dispusieron agua y un sistema de alimentación de libre pastoreo. Se evaluó la ganancia de peso y altura a la cruz de tres tratamientos: Testigo (T), 5 matrices (T5) y 10 matrices (T10) con un diseño completamente al azar. Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos. En conclusión las matrices capturantes de Moringa (*Moringa oleifera*) de sobrepasso favorecen a la ganancia de peso vivo de corderos destetados.

Palabras clave—suplementación, estiaje, ovinos, ganancia de peso

Introducción

La ganadería es una actividad del sector primario de suma importancia económica, la cual proporciona una fuente de alimentos básicos que garantiza la seguridad alimentaria de la población, alrededor de 1 billón de personas dependen de dichas actividades a nivel mundial SAGARPA, (2017). México se caracteriza por ser un país ganadero, cuenta con grandes áreas para el desarrollo de la ganadería, bovina, porcina, ovina, caprina y aviar (Partida de la Peña et al. 2013).

Una alternativa viable para incrementar el valor nutritivo de la dieta proporcionar proteína vegetal de alto valor biológico (Tandon et al. 2008) que sobrepasen la digestión ruminal. Para ello se han empleado materiales encapsulantes como: lípidos, carbohidratos, fenoles y gomas; para cumplir las características deseables del sobrepasso ruminal, (Valenzuela, et al. 2013; Shimada, A. 2015). *Moringa oleifera* es un árbol perenne que se encuentra en regiones tropicales y subtropicales de todo el mundo Pérez et al., (2010), se ha utilizado para producir forraje de buena calidad, aportando gran cantidad de proteína cruda.

En este trabajo se evaluó el efecto del contenido de las matrices capturantes de Moringa (*Moringa oleifera*) de sobrepasso en la ganancia de peso de corderos destetados.

Descripción del Método

Las muestras del material biológico fueron colectadas en el rancho ganadero "Santa Cecilia" ubicado en Cantón Bodegas del municipio Tapachula, Chiapas (14°42'55.98" N, 92°19'16.11" W) a una altitud de 20 m.s.n.m.; mismo sitio donde se mantuvieron las unidades experimentales.

Las hojas de moringa fueron colectadas y llevadas al laboratorio del Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) para su deshidratación en horno de secado a 60°C por 24 h, posteriormente se procedió a su molienda hasta obtener partículas de 80 micras (MF 10 basic IKA WERKE); la elaboración de las matrices fue por el método de gelificación iónica (Thu et al., 1996), con el material encapsulante alginato de sodio puro (QUÍMICA MEYER®) (2.5%); con 20% de harina de Moringa (*Moringa oleifera*), durante y después de la formación de las matrices se mantuvieron en solución de CaCl₂·2H₂O [1.50%] por 30 minutos bajo agitación constante (300 rpm) a temperatura ambiente para su

¹ José Alfonso López García MPA es profesor de la licenciatura en Ingeniero Biotecnólogo en la Universidad Autónoma de Chiapas, Tapachula, México. jose.lopez@unach.mx (autor corresponsal)

² La Dra. Julieta Grajales Conesa es profesora de la licenciatura en Ingeniero Biotecnólogo en la Universidad Autónoma de Chiapas, Tapachula, México. julieta.grajales@unach.mx

³ El Dr. Víctor Jesús Albores Flores es profesor de la licenciatura en Ingeniero Biotecnólogo en la Universidad autónoma de Chiapas, Tapachula, México. victor.albores@unach.mx

⁴ El Dr. Eduardo Lozano Guzmán es profesor de la licenciatura en Químico farmacobiólogo en la Universidad Juárez Autónoma de Durango, México. elozano@ujed.mx

⁵ La MB. María Guadalupe De Gyves Córdova es profesora de la licenciatura en Ingeniero Biotecnólogo de la Universidad Autónoma de Chiapas, Tapachula, México. maria.degyves@unach.mx

⁶ El Dr. Rodolfo Torres de los Santos es profesor de la licenciatura en Ingeniero agrónomo de la Universidad Autónoma de Tamaulipas unidad Mante, México. rotorres@docentes.uat.edu.mx

estabilización. Las matrices obtenidas fueron lavadas con agua de grifo. Se seleccionaron las matrices con rango de diámetro de 7 a 9 mm, el cual fue medido con un vernier digital (Stainless hardened), con un peso aproximado de 900 ± 100 mg. En donde el contenido de proteína cruda de Moringa (*Moringa oleifera*) se determinó con antelación por (Madrigal, et al., 2019) y se obtuvo un $16.78\% \pm 3.05$, lo cual indica el valor proteico de esta planta forrajera. Dicho alimento se realizó cada tercer día para evitar la descomposición del mismo.

Para las pruebas in vivo se utilizaron treinta corderos (machos/hembras) de la raza “Pelibuey” los cuales fueron previamente desparasitados, con un peso vivo de 6 ± 0.5 kg con una edad de 2 meses, en un diseño completamente al azar con diez repeticiones por tratamiento. Los corderos se alojaron en corraletas donde dispusieron permanentemente de agua, bajo un sistema de alimentación de pastoreo con praderas de *Digitaria swazilandensis*.

Para el diseño experimental se evaluaron tres tratamientos con 10 repeticiones uno, en donde se encontraban, el tratamiento testigo (T), ovejas alimentadas con pasto y sin matrices capturantes, el tratamiento (T5), ovejas alimentadas de pasto y 5 matrices capturantes de moringa y por último el tratamiento (T10), ovejas alimentadas de pasto y 10 matrices capturantes de moringa, una vez establecido el experimento, se proporcionó durante 28 días y las variables respuestas a medir fueron la ganancia de peso (peso inicial- peso final) y altura a la cruz (tamaño del animal) cada 14 días.

Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) para precisar si existieron o no diferencias significativas entre los tratamientos y sometidos a una prueba Tukey para la comparación múltiple de medias con el fin de seleccionar el tratamiento que proporcione ganancia de peso y altura. Se realizó la correlación de Pearson para evaluar la asociación entre ganancia de peso y la altura a la cruz.

Resultados y discusión

En la figura 1, se observa la ganancia de peso durante los 28 días del tratamiento testigo; el color azul representa el peso inicial de los corderos, el color rojo representa el peso de los corderos a los 14 días de consumir el tratamiento y el color verde representa el peso final de los corderos después de ser alimentados por 28 días. Se puede observar que el tratamiento diez (T10) es el diferente y con mayor incremento de peso ($p < 0.05$).

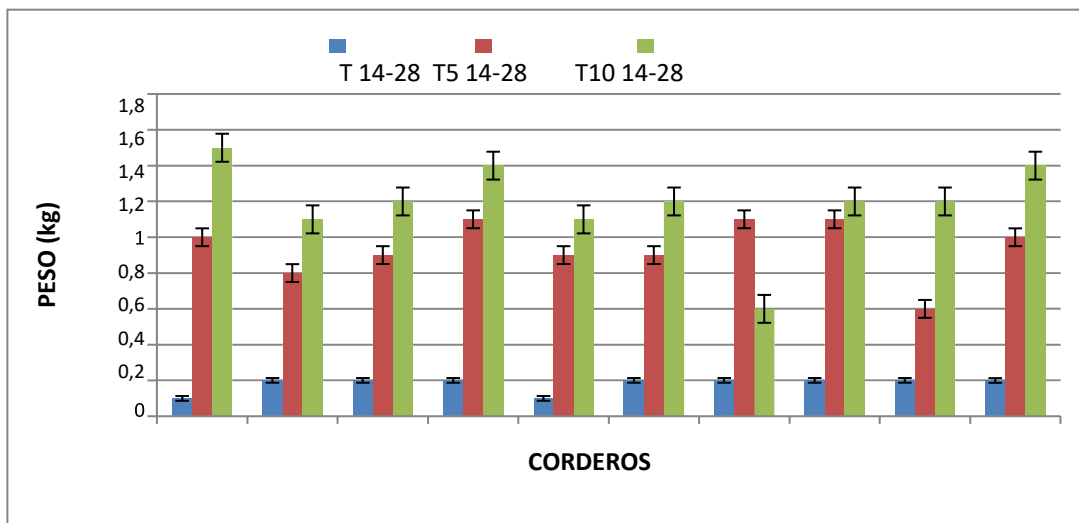


Figura 1. Diferencia de peso de los tratamientos T, T5 y T10 con tiempo de 14-28 días

Con respecto a la talla (altura a la cruz en cm) se pudo observar que aunque existen diferencias de los tratamientos (T5 y T10) con respecto al testigo, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$). Ver la figura 2.

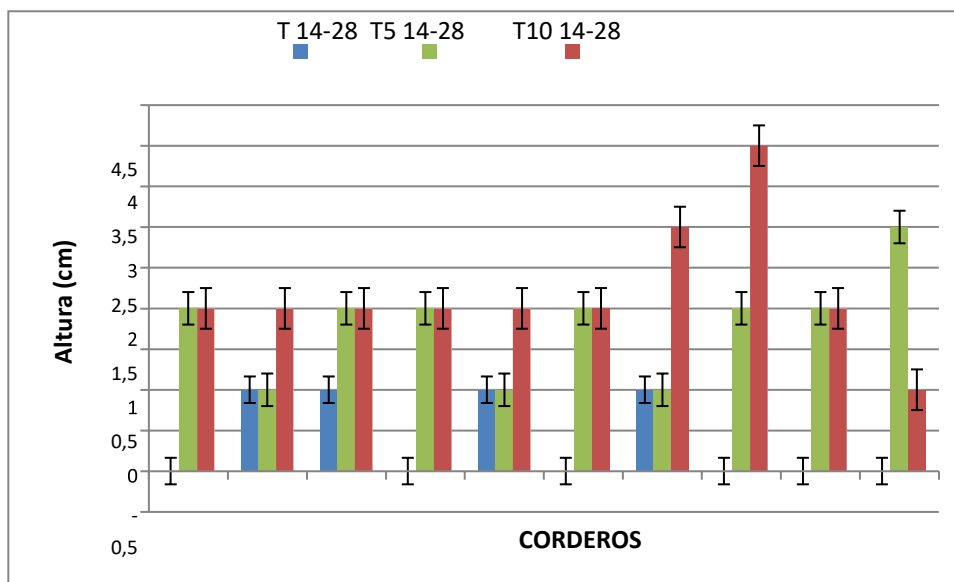


Figura 2. Desarrollo de corderos evaluados (altura a la cruz en cm) suplementados con matrices capturanter de *Moringa oleifera*.

De acuerdo a los resultados obtenidos a partir de 0-14 días, los tratamientos T5 y T10 muestran un incremento de peso vivo de 600 g como mínimo en cada unidad experimental con respecto al testigo; similar a lo que sucede con tiempo de 14-28 días, la diferencia es significativa conforme al desarrollo de los corderos ($p > 0.05$). Similares datos de peso vivo obtuvo Toro B, *et al.* (2018) con una ganancia de entre 2.5 a 3.5 kg por mes.

Según lo descrito por Broderick, (2004), el incremento en los aportes de proteína no degradable en el rumen (PNDR) por la inclusión de la harina de pescado, permitió tanto la utilización del N consumido para producción de proteína láctea como para funciones productivas, lo que hace pensar que la limitante de estas dietas estaría en el aporte de proteína metabolizable y al adicionar (PNDR) el aporte proteico es directamente asimilado por el individuo contribuyendo en las funciones y necesidades fisiológicas.

Mora *et al.*, (2016) en su estudio suplementó a vacas con proteína degradable y no degradable en el rumen, después de 42 días de evaluación concluyó que mejoraron significativamente las variables más importantes, como lo fueron el desarrollo fisiológico y aumento del peso vivo en las vacas, de esta manera Ibarra *et al.*, 2006 en su evaluación con dieta suplementada con proteína no degradable en el rumen (PNDR) a vacas lecheras y reportó que existió ganancia de peso en las unidades experimentales.

Conclusiones

La suplementación alimenticia con matrices capturanter de *Moringa oleifera* fabricadas con alginato de sodio al 2.5% promueven la ganancia de peso (kg) en corderos destetados pero no el crecimiento (altura a la cruz cm).

Referencias bibliográficas

- Ávila R. S. V. (2011) Efecto del agente encapsulante en la viabilidad de un microorganismo probiótico (*Lactobacillus rhamnosus* B442). Tesis posgrado.
- Beigh, A. Y.; Ganai, M. A. y Ahmad A. H. (2017). Prospects of complete feed system in ruminant feeding: A review. *Vet World*. 2017 Apr; 10(4): 424–437.
- Broderick, GA, 2004. Efecto de la suplementación de monensina de bajo nivel en la producción de vacas lecheras alimentadas con ensilaje de alfalfa. *J. Dairy Sci.*, 87 (2): 359- 368.
- Corona, H. R.; Álvarez, P. E.; Lizardi M. J.; Islas, R. A.; De la Rosa A. L.; y Wall, M. A. (2013). Structural stability and viability of microencapsulated probiotic bacteria: A review. *Comprehensive reviews in food science and food safety* Vol.12.
- Doherty, S.B., Gee, V.L., Ross, R.P., Stanton, C., Fitzgerald, G.F. and Brodtkorb, A. 2011. Development and characterization of whey protein micro-beads as potential matrices for probiotic protection. *Food Hydrocolloids*. 25: 1604-1617.
- Esquivel, G. B. E.; Ochoa, M. L. A.; Rutiaga, Q. O. M. (2015). Microencapsulación mediante secado por aspersión de compuestos bioactivos. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, vol. 16, núm. 2, pp. 180-192 Asociación Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, S.C. Hermosillo, México.
- García, D. E.; Medina, M. G.; Cova, L. J.; Soca, M.; Pizzani, P.; Baldzán, A.; Dominguez, C. E. (2008). Aceptabilidad de follajes arbóreos

tropicales por vacunos, ovinos y caprinos en el Estado Trujillo, Venezuela. *Revista Zootecnia Tropical*, 26(3):191-196.

Grace, N. D.; Knowles, S.O.; Sinclair, G. R. y Lee, J. (2011). Respuesta de crecimiento a dosis crecientes de vitamina B 12 microencapsulada y cambios relacionados en las concentraciones de vitamina B 12 en los tejidos en corderos deficientes en cobalto. *New Zealand veterinary journal* 51(2):89-92.

Gutierrez, F.; León, R. y Bonifaz N. (2018). Pastos y forrajes del Ecuador. Siembra y producción de pasturas. Universidad Politécnica Salesiana. Ibarra, D. Latrielle, L. 2006. Incremento en la proteína no degradable en rumen de vacas lecheras: Efectos sobre la producción y composición de leche y utilización de nutrientes. *Arch. Med. Vet.* 38, Nº 2.

Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México. (2020) <https://icamex.edomex.gob.mx/ovinos>

Jarquín A., Rocha E., Rocha L., Reyes S., Mendieta A., (2013). Degradabilidad ruminal del follaje de moringa oleifera a tres diferentes edades de rebrote. *Revista Científica Ciencia animal*. Vol. 13. Nº 21, p. 76-81/.

Kaidi, O.; Alarcón, F.J.; Martínez, T.F.* Y Barroso, F.G. (2015). Protección de fuentes proteicas de la hidrólisis ruminal mediante microencapsulación. Departamento de Biología Aplicada. CITE II-B. Universidad de Almería. Campus Universitario de La Cañada. Almería (España).

Ku-Vera, J. C.; Briceño, E. G.; Ruíz, A.; Mayo, R.; Ayala, A. J.; Aguilar, C. F. et al.(2014). Manipulation of the energy metabolism of ruminants in the tropics: options for improving meat and milk production and quality. *Cuban Journal Agrícola Science*. 48: 43- 53.

Madera, S. N. B.; Bacab, P. H. M.; 2 y Ortiz, de la Rosa B. (2013). Ganancia diaria de peso en ovinos por inclusión de una planta leguminosa (*Leucaena leucocephala*) en dietas basadas en pasto clon Cuba CT-115 (*Pennisetum purpureum*) *Bioagrocencias*. Vol. 6. No.1.

Madrigal L. M. (2019). Integridad de la matriz polimérica capturante para material foliar de Moringa (*Moringa oleifera*) en el sobrepaso ruminal. Tesis de licenciatura. 25 p.

Martin, N., Russelle, M., Powell, J., Smith, S., Tricarico, J., Beca R. (2017). Revisión invitada: Producción sostenible de cultivos de forrajes y cereales para la industria láctea de EE. UU. Volumen 100, Número 12, P9479-9494. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13080>.

Martínez A. (2018). Evaluación de la suplementación de ovejas santa cruz con pasta de *Jatropha curcas* durante el parto y el cordero. Tesis de maestría. 30 p.

Mejía, D. E.; Mahecha, L. L. y Angulo, A. J. (2017). *Tithonia diversifolia*: especie para ramoneo en sistemas silvopastoriles y métodos para estimar su consumo. *Agron. Mesoam*. 28(1):289-302.

Mora L., Robert E., Chicco, F., Claudio, & Herrera A., Godoy S., Garmendia, J. (2014). Suplementación con fuentes de proteína degradable y no degradable en el rumen en vacas alimentadas con *Urochloa humidicola*. I. Cambios de peso vivo, condición corporal, preñez y química sanguínea en vacas Brahman de primer parto a pastoreo. *Revista Científica*, XXIV(6),563-576.

Nazzaro, F.; Pierangelo, O.; Fratianni, F. y Coppola, R. (2011). Microencapsulation in food science and biotechnology. *Current Opinion in Biotechnology*. Volume 23, Issue 2, April 2012, Pages 182-186.

Ojeda, A.; Reyes, M.; Williams R. (2012) Efecto de la liberación controlada de nitrógeno sobre la fermentación y la degradabilidad in situ de *Cynodon dactylon*. *Revista MVZ Córdoba* V17(3): 3133-3139.

Ortiz De Paz E. (2018). Digestión in situ de la dieta para bovinos lecheros en producción con sustitución de alfalfa (*Medicago sativa*) por moringa (*Moringa oleifera*). Tesis de Licenciatura

Partida de la Peña, J. A.; Braña, V. D.; Jiménez, S. H.; Ríos R. F. G. y Buendía, R. G. (2013). Producción de Carne Ovina. Libro técnico No. 5.

Partida de la Peña, Ríos R., Cruz C., Domínguez V., Buendía R. (2017). Caracterización de las canales ovinas producidas en México. *Rev Mex Cienc Pecu*; 8(3):269-277 <http://dx.doi.org/10.22319/rmcp.v8i3.4203>

Peréz, A. R.; De-la Cruz, B. J. O.; Vázquez G. E. y Francisco O. J. (2010). Moringa oleifera una nueva alternativa para Sinaloa.

Rodríguez, B. S., Giraldo, I. G. y Montes M. L. (2016) Encapsulación de alimentos probióticos mediante liofilización en presencia de probióticos. *Información Tecnológica* Vol. 27(6), 135-144.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), (2015). Propuesta de capacitación para el desarrollo de capacidades pecuarias con visión empresarial orientadas a micro, pequeños y medianos productores de ganado ovino.

Shimada, A. (2015). *Nutrición Animal*. Editorial Trillas.

Tandon M.; Siddique R. A.; y Ambwani T. 2008. Role of bypass proteins in Ruminant production. *Dairy Planner*. Vol.4, Issue 10, (May). pp: 11-14.

Toro M., Yarad J., Chacón M., Silva D. (2018). Indicadores productivos del ovino Pelibuey incluir en la dieta ensilaje de *Cenchrus purpureus* vs Maralfalfa. *Ciencia y Tecnología al servicio del pueblo* 5(3): 207-213.

Valenzuela, C., Hernández, G. V., Rodríguez S. F. y Carrillo, G. R. (2013). Tecnología de encapsulación y su aplicación en ciencias veterinarias. *Avances en ciencias veterinarias* V2 58-75.

Vargas-de la Mora, A. L (2018). Ganadería en zonas de amortiguamiento en Chiapas, México: análisis de los capitales de la comunidad. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, V 15, núm. 4, pp. 565-583.

Vázquez, M. I.; Jaramillo, V. J. L.; Bustamante, G. A.; Vargas, L. S.; Calderón, S. F.; Torres, H. G. y Pittroff W. (2018). Estructura y tipología de las unidades de producción ovinas en el centro de México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*. Volumen 15, número 1. pp: 85-97.

Zagorakis, K.; Liamadis, D.; Milis, Ch.; Dotas, V.; Dotas, D. (2015). Nutrient digestibility and in situ degradability of alternatives to soybean meal protein sources for sheep. *The official journal of the international goat association*, 124: 38-44.

Supervivencia de Macrófitas (*Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*) Expuestas en Lixiviado de un Relleno Sanitario

Ing. Gisela Edith Martínez Santiago¹, Dra. Paula Zúñiga Ruíz²,
Dr. Irving David Pérez Landa³, Dra. Isabel Araceli Amaro Espejo⁴

Resumen—Las plantas hidrófitas libres *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* han sido estudiadas por su capacidad de purificar aguas contaminadas por metales pesados y otros elementos presentes en aguas residuales y lixiviados. El objetivo del presente fue evaluar la supervivencia de dichas macrófitas expuestas a lixiviados. Para ello fueron colocadas ambas hidrófitas en una relación másica de 3:1 y 1:1 en una mezcla líquida de lixiviados al 15% y 30%. La observación del desarrollo, crecimiento y reproducción durante 13 días comprobó la supervivencia en ambas concentraciones. Por lo anterior, se realizó una prueba de t (student), en SPSS v2021 a los tratamientos al 30%. Los resultados obtenidos mediante el análisis estadístico demostraron que no existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. En conclusión, el uso combinado de plantas de pistia y lirio acuático pueden utilizarse para la remoción de contaminantes en agua con lixiviados al 30%.

Palabras clave—plantas acuáticas, fitorremediación, lixiviados, contaminación.

Introducción

La riqueza de flora y fauna en México lo hace uno de los países con mayor biodiversidad en el planeta, la vegetación se caracteriza por grandes extensiones de hidrófitas en los cuerpos de agua. En México, como en otras partes del mundo, los sistemas acuáticos reciben poca atención en el área de conservación, así como también en conocimiento de su biodiversidad y estado en el que se encuentran. Pues especies no endémicas del país se han adaptado, desarrollado y reproducido por gran parte del territorio mexicano, generando problemas ambientales y sociales. Estas especies se caracterizan principalmente por invadir y disminuir el flujo de los cuerpos de agua, impedir el paso de los rayos solares evitando la oxigenación y provocando alteraciones en la flora y fauna que habitan en el lugar, lo que provoca que sean consideradas un problema social debido a que al ser una masa flotante dificultan las actividades humanas como navegación, pesca y recreación. Entre las macrófitas mayormente conocidas como invasoras están *Eichhornia crassipes*, *Hydrilla verticillata*, *Lemna minor*, *Pistia stratiotes*, *Salvinia auriculata*, *Typha latifolia*, entre otras. Además de considerarse plantas invasivas o malezas suelen ser objeto de estudio. Debido a la habilidad que tienen las macrófitas acuáticas para asimilar hasta cierto punto todos los constituyentes del agua considerandos como contaminantes, éstas se han empleado en la detección y remoción de sustancias en efluentes de aguas residuales domésticas e industriales (Martelo et al., 2012). A este método de eliminación de contaminantes se le conoce como fitorremediación el cual consiste en el uso de plantas acuáticas con capacidad de remover o contener contaminantes por su propia naturaleza ya que utilizan estos elementos como nutrientes para su desarrollo, crecimiento y reproducción, este método de absorción es amigable con el medio ambiente. Las técnicas de fitorremediación se caracterizan por ser una práctica de limpieza pasiva y estéticamente agradable que aprovechan la capacidad de las plantas y la energía solar para el tratamiento de una gran variedad de contaminantes del medio ambiente (Martínez et al., 2010).

El objetivo del presente fue evaluar la supervivencia de *E. crassipes* (lirio) y *P. stratiotes* (pistia) expuestas a lixiviados. Para ello fueron colocadas ambas hidrófitas en una relación másica de 3:1 y 1:1 en una mezcla líquida de lixiviados al 15% y 30%. La observación del desarrollo, crecimiento y reproducción durante 13 días comprobó la supervivencia en ambas concentraciones. Por lo anterior, se realizó una prueba de t (student), en SPSS v2021 a los tratamientos al 30% en condiciones de un pH de 9 ± 0.13 , y un ICV de 283.7 ± 55 (relación 3:1) y 293.7 ± 91 (relación

¹ Ingeniero Ambiental, Estudiante de Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental. Correo electrónico: m21990007@bdelrio.tecnm.mx. Estudiante-investigador en Instituto Tecnológico de Boca del Río, Veracruz, México. Líneas de investigación: fitorremediación, rellenos sanitarios.

² Doctora en Ciencias en Alimentos y Maestra en Ciencias en Ingeniería Bioquímica. Correo electrónico: paulazuniga@bdelrio.tecnm.mx. Docente-Investigadora en Instituto Tecnológico de Boca del Río, Veracruz, México. Línea de investigación: medioambiente, acuicultura e innovación de los ecosistemas costeros marinos.

³ Doctor en Ciencias con Enfoque en Nanotecnología Ambiental y Maestro en Ciencias en Ingeniería Bioquímica. Correo electrónico: irvingperez@bdelrio.tecnm.mx. Docente-Investigador en Instituto Tecnológico de Boca del Río, Veracruz, México. Línea de investigación: biotecnología ambiental en los ecosistemas costeros marinos.

⁴ Isabel Araceli Amaro Espejo Dra. en Ciencias Agropecuarias y Maestro en Ingeniería Ambiental. E-mail. isabelamaro@bdelrio.tecnm.mx, Docente-Investigador del Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Boca del Río, Veracruz, México. Línea

1:1) en lirio y de 285 ± 52 (relación 3:1) y 260.6 ± 82 (relación (1:1) en pistia. Los resultados obtenidos mediante el análisis estadístico demostraron que no existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. En conclusión, el uso combinado de plantas de pistia y lirio acuático pueden utilizarse para la remoción de contaminantes en agua con lixiviados al 30%.

Lixiviados

Los rellenos sanitarios son considerados focos de contaminación debido a que emiten grandes cantidades de gases, como el metano y el dióxido carbono, también provocan contaminación odorífera, al suelo, agua y generan lixiviados. Estos últimos, son líquidos que se originan por la reacción de arrastre o filtrado de materiales formando una mezcla con grandes cantidades de materia orgánica, sales, metales pesados, entre otras sustancias. Las características fisicoquímicas y biológicas de los lixiviados generados en un relleno sanitario son específicas para cada sitio, ya que dependen de la composición de los desechos depositados y de las condiciones reinantes en él, como clima, temperatura, contenido de humedad, edad del relleno, régimen de precipitación pluvial, tipo de cobertura y densidad de la masa de vertido (Morales, 2007).

Fitorremediación

La fitorremediación es un término proveniente de dos palabras *fito*, que en griego significa planta o vegetal, y del latín *remediare* que significa poner remedio al daño o enmendar. La fitorremediación puede definirse como una tecnología sustentable que se basa en el uso de plantas para reducir in situ la concentración o peligrosidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos de suelos, sedimentos, agua, y aire, a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a su sistema de raíz que conducen a la reducción, mineralización, degradación, volatilización y estabilización de los diversos tipos de contaminantes (Núñez López, et al., 2004). Algunas de las ventajas que tiene este método son: es una tecnología sustentable y eficiente para el tratamiento de distintos tipos de contaminantes in situ, puede aplicarse en ambientes con bajas a moderadas concentraciones de contaminantes, suele ser económica ya que no requiere personal especializado para su manejo y no consume energía, es amigable con el medio ambiente y concluido el tratamiento los elementos pueden reciclarse (agua, biomasa, metales). Por otra parte, entre las desventajas se encuentra que es un proceso lento, las estaciones del año deben de considerarse para el desarrollo, crecimiento y reproducción de las plantas, también, no todas las especies macrófitas son acumuladoras de contaminantes y se requiere grandes áreas para el llevar a cabo el proceso.

Algunas de las plantas acuáticas reconocidas como fitorremediadoras son *Lemna gibba*, *Eichhornia crassipes*, *salvinia auriculata*, *Pistia stratiotes*, *Eleocharis macrostachya*, *Schoenoplectus americanus*, *Anabeana azollae*, *Typha latifolia*, *Schoenoplectus californicus*, *Limnobiium laevigatum*, por mencionar algunas.

Las macrófitas *E. crassipes* (lirio acuático) y *P. stratiotes* (lechuga de agua) han sido estudiadas para la degradación de contaminantes presentes en aguas residuales y en lixiviados de rellenos sanitarios. La alta productividad de algunas plantas flotantes y el alto requerimiento nutricional de nitrógeno (N) y fosforo (P) hacen que estas especies resulten adecuadas para reducir los niveles de estos nutrientes de los efluentes (Mendoza, Pérez, & Galindo, 2017). La especie *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua) es una planta potencialmente aprovechable para remover cadmio (II) y mercurio (II) en aguas contaminadas (Poma, et al., 2014); Por tanto, este lirio tiene potencial para utilizarse como un fitorremediador de metales (Carrión, et al., 2012), además, *Eichhornia crassipes* presenta gran capacidad de amortiguamiento del pH en los medios ácido y básico (Paredes & Ñique, 2016).

Metodología

Muestreo de lixiviados

Las muestras utilizadas en los modelos experimentales se tomaron de la laguna de lixiviados del Relleno Sanitario El Guayabo (Figura 1), ubicado en el municipio de Medellín, Veracruz, México (N 18° 89' 13.74" W 96° 13' 61.81"). El muestro consistió en extraer lixiviados de 4 puntos de la laguna (C1-C4), para ello, la laguna fue seccionada imaginariamente en 4 cuadrantes. Una vez obtenidas las muestras se procedió a realizar una compuesta de los cuatro puntos. La recolección se llevó a cabo en el mes de marzo durante la temporada de estiaje, el líquido fue captado en recipientes de polietileno de alta densidad con capacidad de 20 L, para posteriormente ser transportados a un área abierta dentro de las instalaciones del Instituto Tecnológico de Boca del Río en donde fueron almacenados en los mismos recipientes a temperatura ambiente para mantenerlos en condiciones similares.



Figura 1. Relleno Sanitario El Guayabo

Recolección de macrófitas

Las macrófitas lirio acuático y pistia de agua fueron recolectadas de un humedal artificial ubicado dentro de las instalaciones del Instituto Tecnológico de Boca del Río, Veracruz, México. Este humedal está conformado por 7 celdas de diferentes dimensiones para el tratamiento en tren de aguas residuales provenientes de las instalaciones de drenaje del mismo Instituto. De la celda 5 fueron extraídas las plantas lirio acuático y pistia, ambas se recolectaron con características similares, la información puede observarse en la tabla 1. Una vez recolectadas plantas sanas se procedió a lavarlas para eliminar inmundicias, posteriormente fueron colocadas en los diferentes modelos de tratamientos.

Especie	Peso fresco (gr.)	Raíz (cm.)	Longitud de hojas (cm.)	Referencia
<i>Pistia stratiotes</i>	100	20	12	(Hernández, 2021).
<i>Eichhornia crassipes</i>	104	17	12	Propio

Tabla 1. Características de las macrófitas *E. crassipes* y *P. stratiotes* Creación de modelos

Los modelos fueron creados con apoyo de un diseño factorial fraccionado en donde se tomó en cuenta la cantidad de plantas y el porcentaje de lixiviado a tratar. En total fueron creados 6 modelos, la información se presenta en la Tabla 2, en recipientes de vidrio con dimensiones de 50x30x26 cm con un volumen total de 39L. Dos modelos fueron denominados “testigos” al solo colocar las plantas en agua de grifo y observar su desarrollo, los modelos M4 y M5 fueron una mezcla líquida constituida por 85% agua de grifo y 15% de lixiviados, y los modelos M3 y M6 estaban integrados por 70% agua de grifo y 30% de lixiviados, los 6 modelos tenían un volumen total de trabajo de 25 L.

Modelo	% <i>Pistia stratiotes</i>	% <i>Eichhornia crassipes</i>	% Lixiviado	Biomasa (Plantas)
M1 Testigo	100	0	---	4
M2 Testigo	0	100	---	4
M3	50	50	30%	4
M4	50	50	15%	4
M5	75	25	15%	4
M6	75	25	30%	4

Tabla 2. Modelos para tratamiento de lixiviados

Pruebas de tolerancia de macrófitas

Durante 13 días se observó el desarrollo, crecimiento y reproducción de las macrófitas en los distintos modelos, para ello se llevó a cabo un control de parámetros físicoquímicos. Cada 2 días se realizaban mediciones de:

Índice de Color Verde (ICV): el ICV es un indicador fisiológico del metabolismo de la planta y de su participación en la transformación de los diferentes nutrientes en el sistema (Pérez et al., 2007). Este indicador fue determinado por un medidor de clorofila (Spectrum Technologies, FIELD SCOUT cm 1000).

pH y temperatura en los modelos: ambos parámetros fueron determinados por un potenciómetro portátil (HANNA, HI98107), estos parámetros son de importancia, pues de acuerdo con Mumtaz et al., (2014) un pH de 6-9 y temperatura de 15-38 °C son favorables para el tratamiento de aguas residuales por plantas acuáticas, lo que permite tener un rango de pH y temperatura base para el tratamiento de lixiviados.

Evaporación: la evaporación es un indicativo de la cantidad de agua que necesitan las plantas para su crecimiento, desarrollo y reproducción, además es un proceso natural que se da por el calentamiento de los líquidos. Este valor fue determinado por medio de un recipiente graduado con capacidad de 2L.

Resultados

Por medio de observación del desarrollo, crecimiento y reproducción, además de determinar pH, temperatura, ICV y evaporación se comprobó que los tratamientos con ambas hidrófitas en mezclas líquidas de 15% y 30% lograron una supervivencia durante 13 días, por lo que, para el presente trabajo se consideran con mayor relevancia y objeto de estudio los modelos M3 y M6 de tratamientos al 30%.

El cambio de temperatura y pH en los modelos de tratamientos presentados en la Figura 2. Las condiciones de pH para ambas relaciones son de 9 ± 0.13 , y 28 ± 0.72 en el caso de la temperatura, ambos datos se encuentran dentro del rango mencionado por Mumtaz et al., (2014).

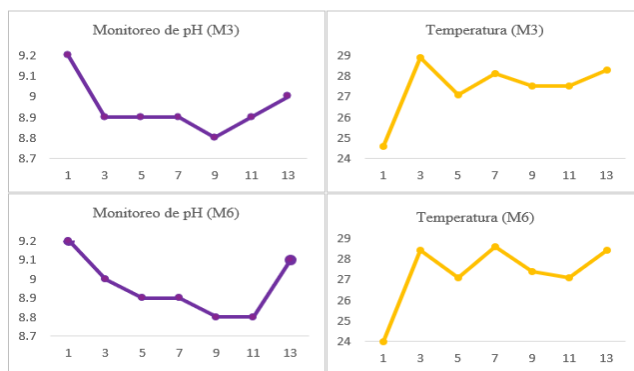


Figura 2. Monitoreo de temperatura y pH en modelos

La información presentada en la figura 3 muestra el comportamiento del ICV en la relación másica 1:1 (M3) estuvo dispuesto en un rango de 293.7 ± 91 y para la relación 1:3 (M6) fue de 285 ± 52 , mostrando valores con capacidad de aclimatación a las condiciones de lixiviado a las que fueron sometidas.

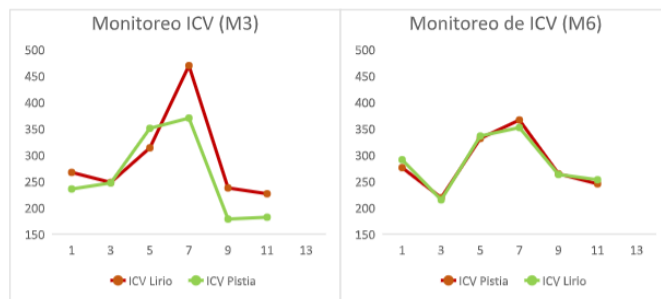


Figura 3. Monitoreo de Índice de Color Verde en modelos

La evaporación en ambos modelos estuvo concentrada en un rango de 400 ± 12 para ambos modelos M3 y M6 que se puede observar en la figura 4. En el caso del modelo M6 se observa que entre los días 7 al 9 no se presentó evaporación, sin embargo, visualmente este comportamiento no afectó el desarrollo, crecimiento y reproducción de las macrófitas.

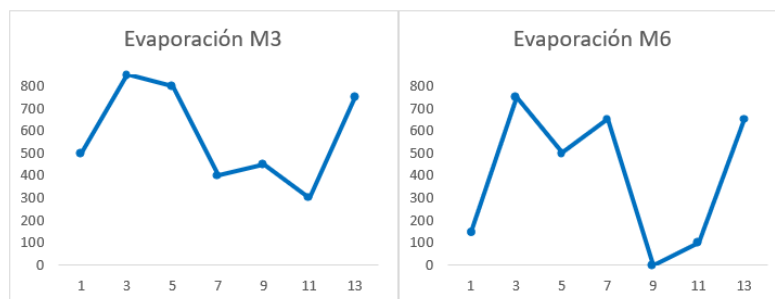


Figura 4. Monitoreo de evaporación en modelos

Análisis estadístico

Para evaluar la supervivencia de macrófitas en ambos modelos en condiciones al 30% (17.5 L de agua y 7.5 L de lixiviados), se realizó una prueba estadística para comprobar si existen diferencias significativas; y tomar la decisión de utilizar el modelo más eficaz. Para ello los datos obtenidos de pH, Temperatura, ICV y evaporación fueron sometidos a una prueba de t (Student), en SPSS v2021. Se realizó una prueba de normalidad en el programa ya mencionado mediante una prueba de Shapiro-Wilk, el único dato que presenta una significancia menor a 0.05 fue el ICV para el lirio acuático en el modelo M3 con un valor de 0.03. El resto de los datos presentaron una significancia mayor a 0.05, considerándolos como distribución normal por lo que se eligió aplicar la prueba paramétrica t (student). Los resultados de la prueba t (student) para muestras independientes en pH (0.448), temperatura (0.803), evaporación (0.097), ICV lirio (0.419) e ICV pistia (0.211) superan el valor de significancia (0.05), por lo que se asumen varianzas iguales, demostrando que no existen diferencias significativas entre los modelos M3 y M6; por lo tanto, ambos modelos pueden ser utilizados para la remoción de contaminantes en agua con lixiviados al 30%.

Comentarios Finales

Incorporar ambas plantas en un solo tratamiento puede aumentar la eficiencia de remoción de contaminantes no existiendo diferencia entre la cantidad de biomasa por especie presente. Trabajos de investigación como el de Hernández (2021) han sido factibles para tratar el lixiviado al 15% del Relleno Sanitario El Guayabo con *P. stratiotes*, sin embargo, se demuestra que la combinación de macrófitas jóvenes *P. stratiotes* y *E. crassipes* extraídas de un área donde han crecido con cierta cantidad de contaminantes pueden ser capaces de tolerar hasta un 30% los lixiviados, debido a que se encuentran adaptadas a este tipo de ambiente.

Conclusiones

Por lo anterior, se comprueba la supervivencia de ambas macrófitas combinadas en lixiviados del Relleno Sanitario El Guayabo al 30% y se establece que los tratamientos M3 y M6 pueden ser factibles para la remoción de contaminantes presentes en el lixiviado.

Referencias

- Carrión, Cristóbal, Ponce-de León, Claudia, Cram, Silke, Sommer, Irene, Hernández, Manuel, & Vanegas, Cecilia. (2012). Aprovechamiento potencial del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en Xochimilco para fitorremediación de metales. *Agrociencia*, 46(6), 609-620. Recuperado 17 septiembre, 2022, de <http://bitly.ws/uqBW>.
- Morales, C. J. (2007). *Estudio para la remoción de metales pesados en los lixiviados de rellenos sanitarios*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Recuperado 17 septiembre 2022, de <http://bitly.ws/uqDm>.
- Núñez López, R. A., et al., (2004). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Ciencia*. 69-82. Recuperado 17 septiembre 2022, de <http://bitly.ws/uqDR>.
- Peréz A, J. M., Peña Salamanca, E. J., y Torres G, C. (2007). Efecto del nitrógeno y la irradiación en la eficiencia fotosintética del anamú *Petiveria allicea* (Phytolaccaceae). *Revista de la academia colombiana de ciencias exactas, físicas y naturales*, 31(118), 49-55. Recuperado 17 septiembre 2022, de <http://bitly.ws/uqEr>.
- Poma Llantoy, Víctor Raúl, & Valderrama Negrón, Ana C. (2014). Study of physicochemical parameters for cadmium (ii) and mercury (ii) phytoremediation using the specie *Eichhornia Crassipes* (water hyacinth). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 80(3), 164-173. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v80i3.224>.

Torri, S. I. (2017). ¿Qué es un relleno sanitario? Publicación on-line del Centro de Estudios y Desarrollo de Políticas, 381. Recuperado 17 septiembre 2022, de <http://bitly.ws/uqER>.

Martelo, J., & Borrero, J. A. L. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado el arte. *Ingeniería y Ciencia* 8, 221-243. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.8.15.11>.

Martínez, S. A. A., Toro, F. M. B., Rojas, G. G., Giraldo, J. P. S., & Ángel, Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. *Informador Técnico*, 12-22. <https://doi.org/10.23850/22565035.5>.

Mendoza, Y. I., Pérez, J. I., & Galindo, A. A. (2017). *Evaluación del Aporte de las Plantas Acuáticas Pistia stratiotes y Eichhornia crassipes en el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales*. Universidad de La Guajira: Información Tecnológica – Vol. 29 N° 2. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642018000200205>.

Morales, C. J. (2007). *Estudio para la remoción de metales pesados en los lixiviados de rellenos sanitarios*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Recuperado 17 septiembre 2022, de <http://bitly.ws/uqDm>.

Sánchez, R., Evaluación del humedal artificial de la hostería Cuicocha, utilizado para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Tesis de pregrado, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad Politécnica Nacional, Quito, Ecuador (2011). Recuperado 17 septiembre 2022, de <http://bitly.ws/uqGv>.

Paredes, J., & Nique, M. (2016). *Optimización de fitorremediación de mercurio en humedales de flujo continuo empleando Eichhornia crassipes "Jacinto de Agua"*. Universidad Nacional Agraria de la Selva: Investigación y Amazonía 2015. Recuperado 17 septiembre 2022, de <http://bitly.ws/uqGJ>.

Notas Biográficas

Gisela Edith Martínez Santiago Ingeniero Ambiental, Estudiante de Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental. Correo electrónico: m21990007@bdelrio.tecnm.mx. Estudiante-investigador en Instituto Tecnológico de Boca del Río, Veracruz, MÉXICO. Líneas de investigación: Fitorremediación, rellenos sanitarios. ORCID ID: 0000-0002-7471-5442.

Paula Zúñiga Ruiz. Dra. en Ciencias en Alimentos y M. en C. en Ingeniería Bioquímica. Profesora-Investigadora en el Instituto Tecnológico de Boca del Río, enfocada en medioambiente, acuacultura e innovación de los ecosistemas costeros marinos. Temas de interés: residuos sólidos urbanos, biorremediación.

Irving David Pérez Landa Doctor en Ciencias con Enfoque en Nanotecnología Ambiental y Maestro en Ciencias en Ingeniería Bioquímica. Correo electrónico: irvingperez@bdelrio.tecnm.mx, Docente-Investigador en Instituto Tecnológico de Boca del Río, Veracruz, México. Línea de investigación: biotecnología ambiental en los ecosistemas costeros marinos.

Isabel Araceli Amaro Espejo Dra. en Ciencias Agropecuarias y Maestro en Ingeniería Ambiental. E-mail. isabelamaro@bdelrio.tecnm.mx, Docente-Investigador del Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Boca del Río, Veracruz, México. Línea

Síntesis, Caracterización y Actividad Antimicrobiana de Nanopartículas de Plata Sintetizadas a partir de Bagazo de Zapote Amarillo (*Pouteria campechiana*)

Est. Jonathan Daniel Moreno Delgadillo¹, Lic. Lenin Rodolfo Díaz Corona², Lic. Dulce María Romero García,³ Dr. Gilberto Velázquez Juárez,⁴ Dra. Alma Hortensia Martínez-Preciado,⁵ Dra. María Esther Macías Rodríguez,⁶ Dr. Diego Alberto Lomelí-Rosales⁷

Resumen—En los procesos de síntesis tradicional para la obtención de nanopartículas metálicas (NPsM) se emplean solventes o surfactantes y reductores que pueden presentar un daño al medio ambiente y a la salud. La síntesis verde de NPsM es un tema de investigación actual, debido a las aplicaciones biomédicas que estas presentan, por su baja o nula toxicidad. En este estudio se empleó un extracto acuoso del bagazo de zapote amarillo (*Pouteria campechiana*), el cual fue analizado para determinar su perfil fitoquímico, encontrando grupos de biomoléculas que pueden actuar como reductor y estabilizante para la reducción de los iones Ag^+ y la formación de sus nanopartículas de plata (NPsAg). Las nanopartículas fueron sintetizadas por radiación UV y microondas, y a su vez caracterizadas por espectroscopías y microscopías. Las NPsAg obtenidas fueron evaluadas como antimicrobianos contra *Salmonella enteritidis*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* O157:H7 y *Listeria monocytogenes*.

Palabras clave— Síntesis verde, nanopartículas, plata, antimicrobianos, microondas.

Introducción

La forma tradicional de obtener nanopartículas metálicas (NPsM) es mediante técnicas que involucran el uso de solventes y surfactantes que pueden presentar daños para la salud y el medio ambiente. Como alternativa, la síntesis verde de nanopartículas metálicas ha ganado terreno debido a que involucra el uso de plantas o sus extractos, como posible sustitución a los métodos químicos y físicos tradicionales (Kharissova et al., 2019). Entre las ventajas de una síntesis verde se puede reducir el tiempo de reacción, mejorar el rendimiento, disminuir la formación de productos de desecho, y con ello, conducir a una síntesis de productos amigables con el ambiente de forma no tóxica y de bajo costo.

Para la síntesis verde de NPsM se ha reportado el uso de biomasa, hongos y partes de las plantas como las hojas, frutos, raíces y semillas debido a la presencia de moléculas con propiedades reductoras, que permiten la adecuada síntesis de nanopartículas y que, adicionalmente, actúan como agentes estabilizantes al anclarse a la superficie de la NPsM (Jadoun et al., 2021). A su vez, estas NPsM tienen aplicaciones en una gran variedad de áreas, como la óptica, electrónica, biomédica, industria química, energía, mecánica, por mencionar algunas, en donde, las aplicaciones biomédicas requieren que las NPsM sean biocompatibles y de baja o nula toxicidad, siendo así de gran interés que sean sintetizadas mediante procesos más verdes.

Por otra parte, estas nuevas rutas sintéticas para la obtención de las NPsM han resultado ser versátiles, pues se han reportado la síntesis de nanopartículas de plata (NPsAg), oro (NPsAu), cobre (NPsCu), paladio (NPsPd), platino (NPsPt), óxido de zinc (NPsZnOx), óxido de titanio (NPsTiOx), entre otras (Singh et al., 2018). A su vez, las NPsAg han sido foco de estudio, debido a que se ha encontrado que cuentan con propiedades antimicrobianas contra hongos, bacterias y virus (Lopez-Millan & Lucero-Acuña J. A., 2021), lo cual lo hacen ser una opción contra bacterias resistentes a antibióticos. Su acción antimicrobiana es atribuida al hecho de que es un tóxico no-selectivo con una gran capacidad biocida, eliminando con efectividad a más de 650 microorganismos causantes de enfermedades (Laredo

¹ Jonathan Daniel Moreno Delgadillo es Estudiante activo de la carrera de ingeniería en Alimentos y Biotecnología en la Universidad de Guadalajara, CUCEI, jonathan.moreno2692@alumnos.udg.mx (autor principal)

² Lenin Rodolfo Díaz Corona es candidato a Doctor en el programa de Doctorado en Procesos Biotecnológicos de la Universidad de Guadalajara, CUCEI, Guadalajara, Jalisco, México lenin.diazc@alumnos.udg.mx

³ Dulce María Romero García es candidata a Doctor en el programa de Doctorado en Procesos Biotecnológicos de la Universidad de Guadalajara, CUCEI, Guadalajara, Jalisco, México dulcem.romero@alumnos.udg.mx

⁴ El Dr. Gilberto Velázquez Juárez es profesor investigador del Departamento de Química en la Universidad de Guadalajara, CUCEI, Guadalajara, Jalisco, México gilberto.velazquez@academicos.udg.mx

⁵ La Dra. Alma Hortensia Martínez Preciado es profesora investigadora del Departamento de Ingeniería Química en la Universidad de Guadalajara, CUCEI, Guadalajara, Jalisco, alma.martinez@academicos.udg.mx

⁶ La Dra. María Esther Macías Rodríguez es profesora investigadora del Departamento de Farmacología en la Universidad de Guadalajara, CUCEI, Guadalajara, Jalisco, México mesther.macias@academicos.udg.mx

⁷ El Dr. Diego Alberto Lomelí Rosales es profesor investigador del Departamento de Química en la Universidad de Guadalajara, CUCEI, Guadalajara, Jalisco, México diego.lomeli4077@academicos.udg.mx (autor correspondiente)

Naranjo, 2014). Dado lo anterior, sus aplicaciones en la industria alimentaria son muy amplias, teniendo de ejemplo la utilización de AgNPs en la producción de materiales destinados a estar en contacto directo con los alimentos, ayudando a eliminar hasta un 90 % el crecimiento de microorganismos que puedan llegar a dañar al producto. Siendo de esta manera una alternativa a otros métodos de conservación de los alimentos, como lo pueden ser la radiación o los tratamientos térmicos (Pérez-Surio & Oliver, 2015).

Como se ha mencionado anteriormente, en la síntesis verde de nanopartículas, el uso de plantas como fuentes naturales para la producción de estas ha resaltado con gran importancia debido a que contienen una amplia variedad de compuestos bioactivos con actividades biológicas muy interesantes. El zapote amarillo, también conocido como canistel, es un miembro de la familia de las Sapotaceae, el cual es endémico de México y Centro América donde lo podemos encontrar en la temporada de invierno-primavera. Diferentes estudios del fruto y sus componentes no comestibles han demostrado su alto contenido de compuestos bioactivos como lo son polifenoles, flavonoides, saponinas, entre otros (Ávila-Mendoza & García-Martínez, 2021). Siendo además rico en carbohidratos, carotenos, aminoácidos, compuestos fenólicos, vitaminas A y C, minerales como calcio, fósforo y hierro. Dada la presencia de estos compuestos la fruta se ha usado como remedio para problemas coronarios, trastornos hepáticos y epilepsia (Sethuraman et al., 2020). Por otra parte, las hojas se han utilizado para la síntesis de nanopartículas de dióxido de titanio, sin embargo, poca atención se ha dado a su principal producto de desecho como lo es el bagazo.

Es por ello, que en este trabajo se presenta el uso de extractos del bagazo de zapote amarillo, con la motivación de emplear un desecho agroindustrial como fuente natural de biomoléculas, que actúen como agentes reductores y estabilizantes para la formación de NPsAg y NPsAu, dando así un uso a estos desechos para la producción de nuevos nanomateriales, los cuales están siendo empleados con frecuencia para determinadas aplicaciones. Adicional a contribuir con un nuevo sistema de síntesis verde para la preparación de estas nanopartículas, otro de los motivos de esta investigación ha sido evaluar la actividad antimicrobiana de las nanopartículas obtenidas contra bacterias clínicas que pueden presentar resistencia a antibióticos.

Descripción del método

Obtención y procesamiento de la planta

Los frutos del zapote amarillo (*Pouteria campechiana*) fueron adquiridos en el Mercado de Abastos de la Ciudad de Guadalajara, Jalisco en el mes de marzo. La maduración de los frutos fue bajo condiciones controladas de humedad y temperatura. Ésta fue monitoreada con base en la firmeza a través del tacto y los cambios de color, excluyendo las frutas que presentaban un daño físico o maduración fisiológica incompleta. Una vez alcanzadas las condiciones de maduración, primero se lavaron las frutas y se desinfectaron con una solución de cloro a 2 ppm sumergiéndolas por 30 segundos. Luego los frutos se escaldaron a 95 °C por 5 min, se pasaron a un baño con hielo por 2 min para posteriormente realizar el despulpado. Este proceso permite separar los componentes de la fruta, obteniendo por un lado la pulpa homogénea y por el otro el bagazo que resulta del procesamiento de la fruta. Los componentes obtenidos se pesaron y almacenaron a -20 °C.

Preparación del extracto acuoso del bagazo del zapote amarillo

Para la preparación del extracto acuoso, se pesaron 5.05 g de bagazo del zapote amarillo y se mezclaron con 50 mL de agua destilada en agitación continua a una temperatura de 70 °C durante 15 min. Después, el extracto acuoso se filtró a través de un filtro Whatman por gravedad. El filtrado se centrifugó a 4000 rpm por 5 min a temperatura ambiente, donde se recuperó el sobrenadante para hacer la síntesis de nanopartículas.

Optimización de la síntesis de NPsAg y NPsAu

Con el extracto acuoso previamente obtenido, se llevó a cabo la síntesis de NPsAg, utilizando AgNO₃ (8.0 mM) y diferentes cantidades del extracto (100 µL, 200 µL, 300 µL, 400 µL y 500 µL, 600 µL, 700 µL). Estas muestras se expusieron a 60 min de radiación UV y se analizaron por espectroscopia de UV-Vis (Thermo Scientific™ Multiskan SkyHigh, Waltham, MA, USA) en un rango de longitud de onda de 250-1000 nm. Para la síntesis de NPsAu se utilizó HAuCl₄ (8.0 mM) con diferentes cantidades del extracto (100 µL, 200 µL, 300 µL, 400 µL y 500 µL). Estas muestras se expusieron a radiación por microondas durante 6 segundos y se analizaron por espectroscopia de UV-Vis en un rango de longitud de onda de 250-1000 nm.

Obtención de los sobrenadantes

Después de la síntesis de NPsAg y NPsAu con el extracto acuoso del bagazo del zapote amarillo, estas se centrifugaron a 13000 rpm durante 15 min. Posteriormente, los sobrenadantes se separaron de las nanopartículas, las cuales fueron redispersadas en 2 mL de agua destilada para su análisis.

Evaluación antimicrobiana

Las pruebas antimicrobianas se realizaron por triplicado basado en la técnica de difusión en pozo de acuerdo con lo reportado por Balouiri et al., (2016). Se utilizaron cuatro microorganismos para este ensayo, dos cultivos Gram-positivos: *Staphylococcus aureus* y *Listeria monocytogenes*; y dos cultivos Gram-negativas: *Escherichia coli* y *Salmonella enteritidis*. Se estandarizó el inóculo bacteriano a una concentración de 1×10^8 UFC/mL en medio líquido Mueller-Hinton. Se añadieron 175 uL del inóculo a 25 mL de agar Mueller-Hinton fundido y se vació a una caja Petri estéril. Una vez solidificado el agar, se realizaron orificios con un diámetro de 4 mm donde se agregaron 50 μ L de los diferentes tratamientos a evaluar. Las placas se colocaron en refrigeración a 4 °C para permitir la difusión de los materiales por 24 h. Posteriormente, se incubaron las cajas Petri a 37 °C por 24 h, para finalmente, medir los halos de inhibición. Se utilizó ampicilina (0.1 mg/mL) como control positivo en el centro de la placa.

Análisis estadístico

Todos los análisis microbiológicos se realizaron por triplicado y los resultados se expresaron como promedio \pm desviación estándar. Se realizó una ANOVA de una sola vía para el análisis estadístico y se utilizó la prueba de Tukey ($P < 0.05$) para un análisis de comparación de medias mediante el programa Statgraphics 19® (Statgraphics Technologies, Inc., The Plains, VA, USA).

Resultados y discusión

Al realizar la síntesis de NPsAg, se comenzó con establecer la relación extracto:metal, añadiendo 200 μ L de la disolución de AgNO_3 y añadiendo variación de volumen del extracto de 100 a 1000 μ L, con un tiempo de radiación en la lámpara UV de 60 minutos, terminado el tiempo las disoluciones presentaron una coloración amarillenta naranja característica de la formación de NPsAg en disolución, posteriormente, las disoluciones coloidales fueron centrifugadas y el sólido fue redispersado en 2 mL de agua destilada y analizadas mediante UV-vis, los resultados se muestran en el Figura 1a. El mejor resultado se observó al añadir los 700 μ L de extracto basándose en la curva que presentase una mayor absorbancia y una longitud de onda menor. La curva de máxima absorción se presentó a los 421 nm y con una única curva, lo que denota una morfología esférica. Se realizó el mismo procedimiento, pero sometiéndolo a radiación microondas para propiciar la formación de NPsAg con una mayor velocidad, sin embargo, los resultados no fueron favorables pues no se observó la coloración amarillenta en disolución cómo en el tratamiento de UV. En la Figura 1b, se muestra la imagen de microscopía (SEM) en donde se corrobora la morfología de estas como esférica.

Con el fin de tener panorama más amplio sobre el poder reductor del extracto de bagazo de zapote amarillo, se decidió preparar NPsAu, para ello, un experimento similar a la síntesis de NPsAg se llevó a cabo, pero con HAuCl_4 como fuente de oro. Para tal fin, el mejor resultado fue observado cuando se emplearon 500 μ L del extracto con un tiempo de 6 segundos en microondas. Esto fue determinado con el análisis de las muestras en UV-visible, con la curva de mayor absorbancia en 527 nm y un hombro a mayores longitudes de onda (Figura 1c), denotando una morfología no esférica que se ve modificada en dimensiones. En este caso, contrario a la síntesis de NPsAg, los resultados favorables se obtuvieron por radiación microondas, mientras que por radiación con lámpara UV resultaba en la precipitación de oro en el vial de reacción, indicado una descomposición del metal a estado micrométrico.

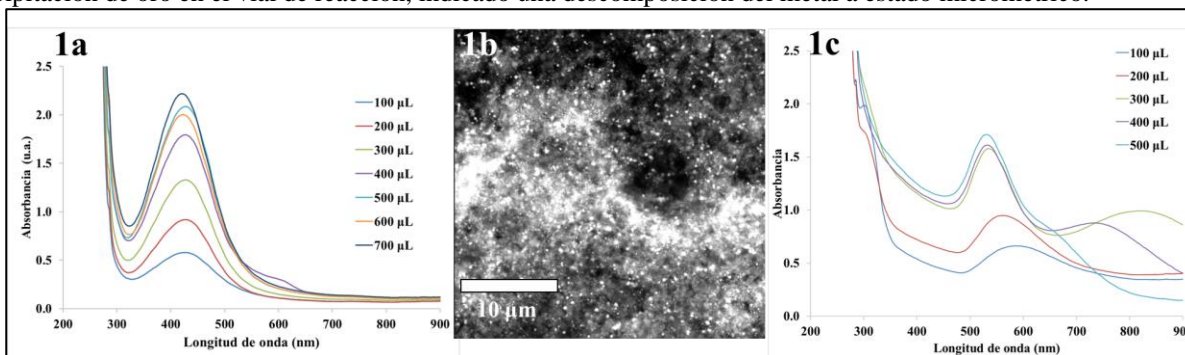


Figura 1. a) Espectro de absorción de UV-Vis de las NPsAg preparadas con diferentes cantidades de extracto (100-700 μ L), la curva de máxima absorbancia se presenta a 421 nm. **b)** Imagen de espectroscopía SEM de las NPsAg, demostrando una morfología esférica. **c)** Espectro de absorción de UV-Vis de las NPsAu preparadas con extracto de 100 μ L hasta 500 μ L, donde se presentan dos curvas de absorción, denotando una morfología no esférica. Para ambos casos, el volumen del metal añadido se mantuvo constante.

Una vez preparadas y purificadas las NPsAg y las NPsAu, se pretendió estudiar su actividad antimicrobiana, empleando cuatro cepas, las cuales se muestran en la Figura 2. Para tal estudio, se colocó el extracto puro, agua como control negativo, antibiótico como control positivo, las NPsAg y NPsAu preparadas en este trabajo, y finalmente Chem-NPsAg que corresponden a nanopartículas preparadas con metodologías tradicionales como un comparativo.

Los halos de inhibición fueron medidos y posteriormente analizados como se especifica en la metodología, los resultados de estos experimentos se presentan en la Tabla 1, donde se puede observar que las NPsAg sintetizadas con el extracto del bagazo de zapote amarillo presentan mejor inhibición que las Chem-NPsAg, demostrando que los nanomateriales preparados por metodologías verdes compiten con los que son sintetizados de forma tradicional pero generando un menor impacto ambiental. El extracto, las NPsAu y el agua como control negativo, como era de esperarse, no presentaron halos de inhibición.

Se ha relacionado ampliamente los efectos que puede tener la estructura de las NPsAg sobre su actividad antimicrobiana. Estas dependen fundamentalmente de su química superficial, tamaño, forma, lo cual puede determinar el impacto que tienen las NPsAg sobre algunas especies de microorganismos. Por su parte, Tang & Zheng, (2018), han propuesto tres posibles mecanismos por los cuales se lleva a cabo esta actividad microbicida. El primero menciona que posiblemente las NPsAg se unen a la membrana celular, proteínas membranales y a las bases de ADN, causando una disrupción de la función celular. El segundo mecanismo es que las NPsAg tienen la capacidad de liberar iones de plata, lo cual afecta la membrana de la bacteria, además de unirse al ADN y proteínas que pueden ser vitales en la función celular. Por último, un posible mecanismo también puede ser la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS), las cuales se conoce pueden afectar directamente el ADN, la membrana y proteínas membranales. Este tipo de estudios son de gran importancia para finalmente dilucidar con mayor exactitud los mecanismos por los que las NPsAg pueden inhibir el crecimiento de microorganismos con importancia en la salud pública.

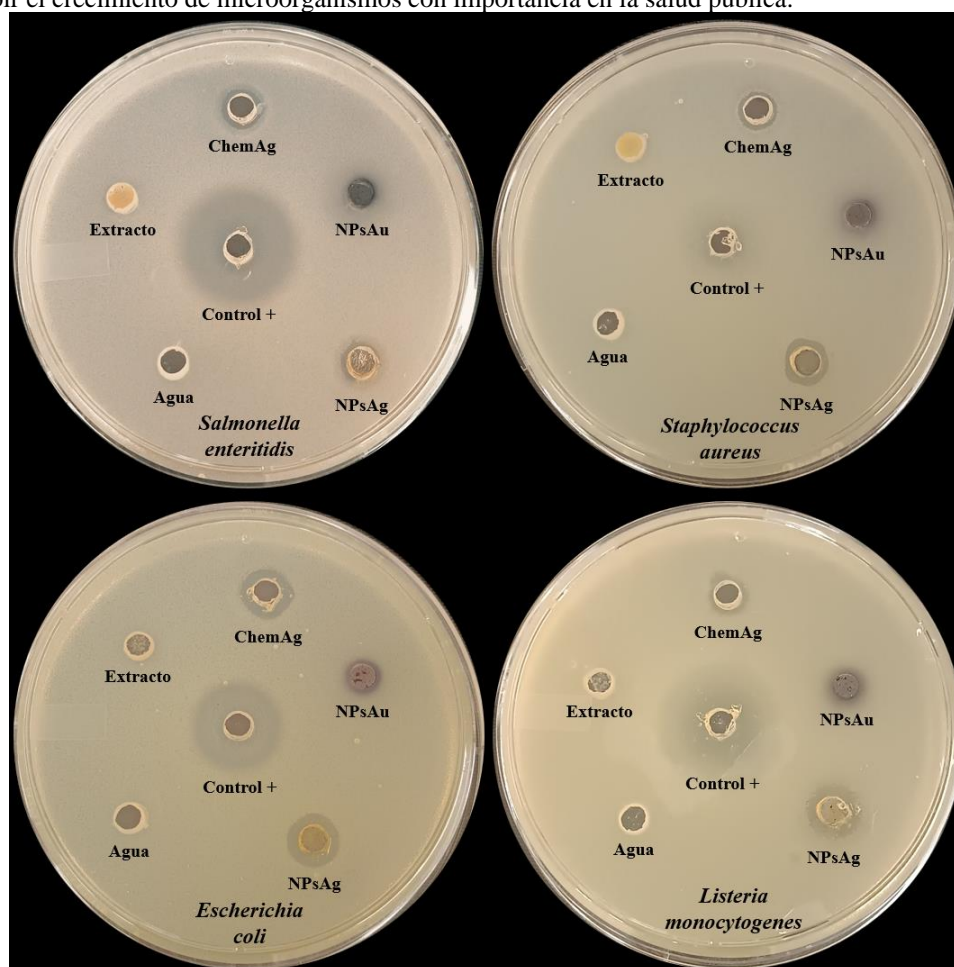


Figura 2. Actividad antimicrobiana de las nanopartículas obtenidas por síntesis biológica y química. Los tratamientos NPsAg y ChemAg mostraron actividad antimicrobiana contra (a) *S. enteritidis*, (b) *S. aureus*, (c) *E. coli* y (d) *L.*

monocytogenes. Mientras que el extracto y las NPsAu no mostraron actividad antimicrobiana contra ninguna cepa. Ampicilina (0.1 mg/mL) se utilizó como control positivo de inhibición.

Tabla 1. Halos de inhibición (mm). Los valores se expresan como promedio \pm desviación estándar (n = 3) incluyendo el diámetro del pozo. Antibiótico (control positivo): Ampicilina (0.1 mg/mL). Letras diferentes en cada columna significan diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey (P < 0.05).

Microorganismo	Antibiótico	Agua	Extracto	ChemAg	NPsAu	NPsAg
<i>Salmonella enteritidis</i>	20.13 \pm 0.79 ^b	-	-	8.61 \pm 0.69 ^a	-	10.20 \pm 1.82 ^a
<i>Staphylococcus aureus</i>	15.84 \pm 1.00 ^a	-	-	8.79 \pm 1.32 ^a	-	10.71 \pm 1.82 ^a
<i>Escherichia coli 0157:H7</i>	15.28 \pm 1.51 ^a	-	-	10.38 \pm 0.78 ^a	-	9.53 \pm 0.21 ^a
<i>Listeria monocytogenes</i>	22.03 \pm 0.52 ^b	-	-	8.20 \pm 0.23 ^a	-	12.22 \pm 1.21 ^a

Conclusiones

Se demostró que las NPsAg sintetizadas con el bagazo del zapote amarillo, tienen capacidad antimicrobiana contra las cepas Gram-negativas *Salmonella enteritidis* y *Escherichia coli 0157:H7* y Gram-positivas *Staphylococcus aureus* y *Listeria monocytogenes*. Estos resultados abren la oportunidad a buscar nuevas aplicaciones en el uso de nanopartículas mediante el uso de plantas como agentes reductores. Por otra parte, al sintetizar NPsAg y NPsAu con el extracto, se abre la posibilidad de estudiar la formación de nanopartículas con otros metales de interés, presentando un sistema versátil y económico para la síntesis de NPsM.

Referencias bibliográficas

- Ávila-Mendoza, E. J., & García-Martínez, R. M. (2021). Zapote amarillo, un fruto exquisito de sabor inigualable nutrimentalmente rico. *Milinaría, Ciencia y Arte*, 11(18), 34–36.
- Balouiri, M., Sadiki, M., & Ibsouda, S. K. (2016). Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review. *Journal of Pharmaceutical Analysis*, 6(2), 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.jpha.2015.11.005>
- Jadoun, S., Arif, R., Jangid, N. K., & Meena, R. K. (2021). Green synthesis of nanoparticles using plant extracts: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 19(1), 355–374. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01074-x>
- Kharissova, O. v., Kharisov, B. I., Oliva González, C. M., Méndez, Y. P., & López, I. (2019). Greener synthesis of chemical compounds and materials. *Royal Society Open Science*, 6(11), 191378. <https://doi.org/10.1098/rsos.191378>
- Laredo Naranjo, M. A. (2014). Propiedades antimicrobianas de citotoxicidad de las nanopartículas de plata depositadas en placas de titanio In vitro. *Universidad Autónoma de Nuevo León*, 1–108.
- Lopez-Millan, A., & Lucero-Acuña J. A. (2021). Síntesis verde de nanopartículas de oro y plata. *Universidad de Sonora*.
- Pérez-Surio, A. F., & Oliver, A. C. (2015). Nanopartículas de plata en envases de uso alimentario. *Revista de Salud Ambiental*, 15(2), 80–87.
- Sethuraman, G., Marahaini, N., Nizar, M., Muhamad, F. N., Adhwa, T., Tengku, S., Suhairi, M., Jahanshri, E., Gregory, P. J., & Azam-Ali, S. (2020). Nutritional composition of canistel (Pouteria Campechiana (Kunth) Baehni). *International Journal of Food Science and Nutrition*, 5(6), 53–57. www.foodsciencejournal.com
- Singh, J., Dutta, T., Kim, K.-H., Rawat, M., Samddar, P., & Kumar, P. (2018). ‘Green’ synthesis of metals and their oxide nanoparticles: applications for environmental remediation. *Journal of Nanobiotechnology*, 16(1), 84. <https://doi.org/10.1186/s12951-018-0408-4>
- Tang, S., & Zheng, J. (2018). Antibacterial Activity of Silver Nanoparticles: Structural Effects. *Advanced Healthcare Materials*, 7(13), 1701503. <https://doi.org/10.1002/adhm.201701503>

Efectos de la Inoculación de Micorriza sobre Triticale (*Triticosecale Wittmack*)

Maricela Puga Pérez¹, M. en C. Feliciano Luna Muñoz² y M.E.C. Juan Manuel Esparza Gómez³

Resumen— La micorriza es una asociación simbiótica dada entre las raíces de las plantas y el micelio de un hongo, propiciando de forma natural el desarrollo radicular, aumentando la absorción de nutrientes y agua, la aplicación de estas en la agricultura implica notables beneficios tanto en la calidad como la productividad de los diferentes cultivos. En el presente trabajo se evaluaron los efectos que tienen las micorrizas al asociarse con triticale (*Triticosecale Wittmack*) contraponiendo diferentes variables agronómicas, como; longitud de la raíz, tamaño de la planta, peso seco, número de macollos y número de espigas. Para el cual se utilizaron 300 unidades experimentales (UE), llenadas con un sustrato de 50% de tierra y 50 % de arena, en las cuales se colocaron 5 semillas de triticale en cada UE, tomando 150 UE para Testigo y 150 UE en Tratamiento con micorrizas (TM). Se obtuvieron resultados con significancia estadística en la variable de longitud de raíz, con un promedio de 47.921 cm respecto al testigo que mostro 35.380 cm a los 70 días después de siembra (DDS), para el tamaño de planta se obtuvo un promedio de 61.965 cm y en Testigo con 47.820 cm tomados a los 145 DDS, por último, en la variable de número de macollos, se visualizó un promedio de 7 macollos en cada UE para el TM en contraste con el testigo que obtuvo 4.84 macollos para cada UE. La utilización de micorrizas es viable para los cultivos de triticale, ya que no es costoso, y en nuestros resultados se muestra una diferencia considerable en las diferentes variables en estudio.

Palabras clave—micorriza, testigo, tratamiento, unidad experimental, semillas, siembra, variables.

Introducción

En la actualidad, la necesidad de adquirir cultivos con un mejor rendimiento y mayor eficiencia en periodos cortos de tiempo ha llevado al empleo de prácticas agronómicas con el uso de agroquímicos. Pese a esto, estas prácticas pueden dejar una marca negativa en el medio y con ello la degradación de recursos naturales y la contaminación ambiental (Ulloa et al., 2016). Por lo anterior han surgido diversas investigaciones y nuevas tecnologías que tienen como finalidad principal reducir el uso de productos químicos y prácticas agrícolas que puedan perjudicar al medio ambiente, y a su vez mantener o aumentar la calidad y rendimiento de los cultivos (Cruz et al., 2014). En los últimos años el uso de hongos formadores de micorrizas han sido una fuente de investigaciones ya que son uno de los componentes principales de las comunidades microbianas rizosféricas que permiten establecer relaciones simbióticas con alrededor de 90 % de las plantas vasculares (R, et al., 2016).

La micorriza es la asociación simbiótica que se forma entre la raíz de la planta y el micelio de un hongo, al ser infestadas las raíces de la planta se produce una gran cantidad de micelio, el cual se extiende explorando un volumen de suelo mucho mayor a lo que harían las raíces en condiciones normales (Cruz, et al., 2014); de tal manera que se incrementa el área fisiológicamente activa de las raíces y por ende se incrementa la captación de agua en las plantas y los nutrientes, otra cosa importante que mencionar es que al hacer simbiosis la planta incrementa su capacidad de tolerancia frente patógenos, así como aumenta la capacidad de tolerancia a la sequía, altas temperaturas, salinidad, metales pesados y pH extremos (Ulloa, et al., 2016). Por lo tanto, han cobrado gran importancia en estudio de técnicas para aislar y evaluar el rendimiento de estos organismos con el fin de aplicarlos como biofertilizantes, ya que se ha visto que favorecerá el desarrollo de la planta y sin obtener efectos perjudiciales como los trae consigo el uso de fertilizantes químicos.¹

Se utilizan principalmente en los cultivos de hortaliza para obtener mayor eficiencia en cuanto a la captación del fósforo, incrementan el enraizamiento, mejoran la penetración y anclaje, aumentan el volumen de exploración radículas, mejoran el suministro de nutrientes y aumento de resistencia a enfermedades El triticale como se le conoce comúnmente es un cereal híbrido que procede del cruzamiento entre el trigo (*Triticum* sp) y el centeno (*Secale* sp), siendo el centeno el progenitor masculino y el trigo el progenitor femenino (Hernández, et al., 2020).

El triticale posee unas hojas, que, aunque más grandes, son iguales a las del trigo y de más espesor, la inflorescencia es en forma de espiga casi compacta y alcanza una longitud de 10 a 14 centímetros, y tiende a ser de color blanco a

¹Maricela Puga Pérez, estudiante de la Unidad Académica de Ciencias Biológicas, en la Universidad Autónoma de Zacatecas “Francisco García Salinas” maricelapuga5@gmail.com

²M. en C. Feliciano Luna Muñoz. Docente de la Carrera Ingeniería en Agrotecnología de la Universidad Politécnica de Sur de Zacatecas (UPSZ). En el remolino, Juchipila, Zacatecas chanillo875@gmail.com

³ M.E.C. Juan Manuel Esparza Gómez. Secretario Académico de la Universidad Politécnica de Sur de Zacatecas (UPSZ). En el remolino, Juchipila, Zacatecas juanesparzagomez@edu.mx

amarillo (Biel, et al., 2020). Posee un tallo largo que resiste la tendedura, parecido a la caña, es hueco y con nudos estructurales como todas las gramíneas. El grano es un cariósipide alargado y atravesado por un surco en toda su longitud y es rugoso y de color amarillo parduzco (Ferrari, et al., 2021). En cuanto a su reproducción, es preciso que alcance el estado adulto por lo que ha de haber transcurrido parte de su ciclo, esto es lo que se denomina inducción juvenil, además en ciertas variedades es necesario que la planta acumule un determinado número de horas antes de que sus órganos florales se diferencien, al igual que otros cereales el triticale también pasa por las mismas fases de la ontogenia que estos; la germinación, macollaje, floración, maduración de grano y la madurez de la cera, su estación de crecimiento es de 250 a 325 días (Zhu, 2017). Principalmente se da en climas subtropicales, moderadamente fríos y moderadamente templados, para su germinación requiere unos 20°C, crecimiento de 10-24°C y supervivencia de 10-33°C, las temperaturas varían en cada fase de desarrollo, prefiere los suelos con una estructura poco porosa, pero es capaz de soportar superficies ácidas (Mendoza, et al., 2014). En cuanto al riego hay que decir que cuando más agua necesita, es después de la siembra y durante el macollamiento, encañe y crecimiento. Sus necesidades hídricas van de 400 a 900 mm por año, se tiende a cosechar entre mayo y agosto (Aquino & Gómez, 2019).

Objetivo

Inocular semillas de triticale (*Triticosecale Wittmack*) con un producto comercial de micorrizas, para evaluar los efectos de contraste en diferentes variables agronómicas, como, longitud de la raíz, tamaño de la planta, peso seco, número de macollos y espigas

Descripción del Método

Ubicación del área experimental

El presente estudio se realizó en la comunidad de El Remolino, en el municipio de Juchipila, Zacatecas, México. A 103°07'26.15" N 21°21'48.10" O, a 1220 msnm. El clima se considera subtropical húmedo, según la clasificación de Köppen (Cwa), con algunas lluvias en diciembre-enero y lluvias en verano, las cuales inician en el mes de junio y terminan en los últimos días de septiembre o primeros de octubre, con una precipitación media anual de 706 mm. Comenzando la temporada de estiaje (temporada seca con altas temperaturas) a finales del mes de enero y termina con las primeras lluvias de junio.

Descripción del tratamiento

Para la evaluación del efecto de las micorrizas sobre el triticale, se utilizaron 300 UE. Cada UE consto de una bolsa negra de 15 cm. x 25 cm, llenada por un sustrato de 50% de tierra y 50 % de arena, en cada una de fueron sembradas 5 semillas de triticale, tomando 150 UE para Testigo, y 150 para el TM. Para la inoculación, se utilizó un producto comercial, el cual se realizó directamente a la semilla utilizando un 2 % del peso total de las semillas.

Procedimiento de siembra

Al término del llenado de la UE con el sustrato se llevó a cabo un riego para que el sustrato quedara prensado. Previo a la siembra se realizó otro riego, para continuar con la siembra manual, 5 semillas por bolsa, comenzando por el testigo. Se tomaron las 750 semillas, colocándose 5 en cada UE en diferentes áreas. Al termino de esto, se realizó la inoculación de semillas con micorriza utilizando 2 % de micorriza del peso total de las semillas, que fueron pesadas en una báscula digital TORREY, modelo LEQ 10/20. Las semillas fueron colocaron en una bolsa agregándole el porcentaje de micorrizas, posterior se procedió a agitar hasta que las semillas quedaran envueltas en las micorrizas; se continuó realizando la siembra de 5 por bolsa.

Fecha de siembra.

La siembra se realizó en húmedo el día 10 de diciembre del 2021 durante el ciclo otoño- invierno, esta se realizó manualmente, depositando cada una de las 5 semillas en el sustrato a una profundidad de 2 veces el tamaño de la semilla aproximadamente a 1.5 cm al interior de la UE.

Regímenes del riego.

A los dos tratamientos del experimento se les aplicó el riego antes de la siembra, y se continuó regando un día después de esta, cada tratamiento fue regado todos los días por la mañana con un riego igual, como menciona López, (2019) cuando más agua necesita, es después de la siembra y durante el macollamiento, como las UE eran de un tamaño pequeño, el riego se realizaba con cubetas en ambos tratamientos.

Fertilización.

Cada unidad experimental recibió una dosis única de fertilizante inorgánico triple 16, para el cual se utilizaron 200 gr que fueron disueltos en 10 litros de agua, equivalente a 20,000 ppm.

Control de plagas.

Debido a que no se presentó plagas ni enfermedades, no se realizó un control de ningún tipo, tanto las plagas como la incidencia de enfermedades, se controló manualmente.

Variables

Para el presente trabajo se tomaron las variables que se describen a continuación.

1. **Germinación.** Se realizó el conteo de las semillas que habían germinado en cada una de las UE, como se mencionó anteriormente cada uno de estas contaba con 5 semillas, y fueron 150 UE tanto en el testigo como el TM, por lo tanto, fue un total de 750 semillas sembradas para cada uno de estos. EL porcentaje de las semillas germinadas fue calculado con la siguiente formula: **semillas germinadas / total de semillas sembradas X 100.**
2. **Altura de planta y longitud de raíz.** Se utilizó un flexómetro Uline Accu-Lock, modelo H-1766 para graduar una mesa, y así evitar que el flexómetro se moviera e impedir errores en las mediciones de longitud de raíz y altura de la planta. Sacamos la planta completa de cada UE la colocamos sobre la mesa y tomamos la medición (cm) correspondiente, para cada una de las variables.
3. **Numero de espigas y numero de macollos.** Ambas variables, se hizo una observación en las espigas y macollos, y realizó un conteo manualmente.
4. **Peso.** Se tomó cada UE cortando cada una de las plantas a 2.5 cm después del sustrato y se procedió a pesarla en una báscula digital TORREY, modelo LEQ 10/20.

Muestreo.

Se realizaron 5 muestreos, en las fechas de 12, 19, 27, 70 y 145 DDS; cada uno compuesto por 30 UE de las cuales fueron tomadas las variables de estudio antes mencionadas. A partir de las 30 UE utilizadas en cada muestreo se obtuvo un promedio por cada variable, el cual fue plasmado en los resultados.

Comentarios Finales

Resumen de Resultados

Los resultados de la investigación arrojan que en los muestreos realizados a los 12, 19 y 27 DDS no se encuentran diferencias en las variables en estudio, incluso se observa que el testigo tuvo un mejor desarrolló, es por esto que se tomó la decisión de realizar el muestreo hasta los 70 DDS donde los resultados encontrados en las variables de estudio tuvieron un mayor desarrollo en las muestras del TM en comparación con el Testigo, ver cuadro 1.

	Longitud de raíz (cm)	Tamaño de planta (cm)
TM	47.921±8.070	43.112±9.910
Testigo	35.380± 6.236	40.707± 12.017
Porcentaje de medias %	26.17	5.57

Cuadro 2. Comparación de medias de longitud de raíz y tamaño de planta a 70 DDS

En las muestras tomadas a 145 DDS uno de los efectos mejor observados, fue el aumento en el tamaño de la planta, en estudios previos se ha demostrado que la inoculación de micorrizas promueve el crecimiento vegetativo, uno de los propósitos que es requerido en el triticale ya que tendría un impacto sustancial en la producción de forraje. Por otra parte, en la variable de peso seco, se observó un promedio mayor en el TM con 18.74 g, a diferencia del testigo que

obtuvo un promedio de 14 g. De acuerdo a las variables de número de macollos y número de espigas, el TM mostro un aumento considerable, ver cuadro 2.

	Tamaño de planta (cm)	Peso seco (g)	No. De macollos	No. De espigas
TM	61.965±5.719	18.74±4.294	7 ±2.140	5.64±0.953
Testigo	47.820±6.408	14±1.482	4.84±0.850	4.44±0.768
Porcentaje de medias	22.822	25.294	30.715	21.416

Cuadro 3. Comparación de medias de tamaño de planta, peso seco, No. de macollos y No. de espigas a 145 DDS.

Trabajos previos han registrado que la inoculación con micorrizas en plantas de *triticale* mejora su crecimiento, apariencia, y rendimiento, Yoram, et al. (2011) encontraron que con la inocular *Azospirillurrl spp* en trigo se logró mejorar su crecimiento y rendimiento, su experimento fue llevado a cabo en un sistema hidropónico. Otro trabajo que mencionar es el de Uresti (2017), en el cual realizó un experimento con diferentes variedades de trigo, las cuales fueron inoculadas con dos tipos de micorrizas; MayFer y INIFAP, en donde se concluyó que estas lograban inhibir el crecimiento de la planta.

Conclusiones

Por lo anterior expuesto, se concluye que el TM presentó diferencias significativas hasta el muestreo realizado a los 70 DDS que se observaron diferencias en las variables, de longitud de raíz y altura de planta. Las diferencias más significativas fueron observadas hasta el muestro 145 DDS donde las 4 variables tomadas mostraron diferencia en cuanto al testigo, la mayor diferencia plasmada fue en el número de macollos con un 30.715 % más macollaje en contraste a el testigo.

La utilización de micorrizas es viable para los cultivos de triticale, ya que no es costoso y en nuestros resultados se concluye una diferencia considerable en las todas las variables en estudio. Los resultados obtenidos muestran la necesidad de conocer la diversidad estructural y funcional de las poblaciones de hongos formadores de micorrizas en triticale y en general en los suelos agrícolas para conocer el impacto de la utilización de este tipo de inoculantes en cultivos extensivos.

Recomendaciones

Como resultado de la conclusión se hacen las siguientes recomendaciones:

Los investigadores interesados en continuar nuestra investigación podrían concentrarse en factores como el control de plagas, clima, fertilización e implementar un mejor monitor de estas, así como un riego más preciso para un mejor resultado. Podríamos sugerir la implementación de estos hongos micorrícicos en otros cultivos ya que aún queda un campo muy abundante de cultivos por explorar en cuanto a los efectos de las micorrizas.

Referencias

- W. Ulloa, P. Arce, F. Galiano y T. J. Torres, «Aislamiento de esporas y evaluación de métodos de inoculación en la producción de micorrizas en cultivos trampa.» Tecnología en Marcha, vol. 29, nº 3, pp. 20-30, 2016.
- Y. Cruz, M. García, Y. León y Y. Acosta, «Influencia de la aplicación de micorrizas arbusculares y la reducción del fertilizante mineral en plántulas de tabaco.» Cultivos tropicales, vol. 35, nº 1, pp. 1-4, 2014.
- V. Bertolini, N. M. Montañó, E. Chimal, L. Varela, J. Gómez y J. M. Martínez, «Abundance and richness of arbuscular mycorrhizal fungi in coffee plantations from Soconusco, Chiapas, Mexico.» Biología Tropical, vol. 66, nº 1, pp. 91-105, 2018.
- R. R. P. Llerena, P. González, R. Rivera, M. Varela y M. Álvarez, «Forage production based on triticale (*X. triticosecale* Wittmack) in Lixic Ferralic Nitisol with varying nitrogen doses and arbuscular mycorrhizal fungal inoculation.» Cultivos Tropicales, vol. 37, nº 2, pp. 22-32, 2016.
- E. Hernández, D. Trejo, A. Rivera y F. Ronald, «La micorriza arbuscular como biofertilizante en cultivo de café.» Tierra Latinoamericana, vol. 38, nº 3, pp. 613-628, 2020.
- M. Villareal, «EFECTOS DE LA PRODUCCION DEL TRIGO (*Triticum aestivum* L.) EN EL MUNDO, MEXICO Y EN LA REGION 5 MANANTIALES.» vol. 54, nº 5, 2014.
- H. Ayalew, T. Kumssa, T. Butler y X. Feng, «Triticale Improvement for Forage and Cover Crop Uses in the Southern Great Plains of the United States.» Frontiers in Plant Science, vol. 9, nº 1, pp. 50-60, 2018.

- J. Anderson, W. Stephen y M. Newell, «VARIATION IN WINTER FORAGE PRODUCTION OF FOUR SMALL GRAIN, » Pak. J. Bo, vol. 49, n° 2, pp. 553-559, 2017.
- W. Biel, K. Kazimierska y U. Bashutska, «Nutritional value of wheat, triticale, barley and oat grains, » Acta Scientiarum Polonorum Zootechnica, vol. 19, n° 2, pp. 19-21, 2020.
- E. Ferrari, A. Quiriban, A. Pica y R. Repollo, «Caracterización morfológica del grano de triticale (x Triticosecale Wittmack) mediante procesamiento y análisis de imágenes digitales,» Revista de investigaciones agropecuarias, vol. 47, n° 2, pp. 232-239, 2021.
- F. Zhu, «Triticale: Nutritional composition and food uses, » Elsevier, vol. 241, pp. 468-479, 2017.
- M. Mendoza, R. Sámaro, F. Cervantes, E. Andrio, J. Rivera, L. Guevara y E. Moreno, «Evaluación de la fertilización integral en la producción de semilla de triticale,» Revista Internacional de Botánica Experimental, vol. 83, pp. 93-100, 2014.
- V. Aquino y N. Gómez, «Triticale (x Triticosecale Wittmack) bioestimulantes orgánicos y fertilización nitrogenada sobre componentes de rendimiento forrajero en campaña chica-valle del Montaro,» Scientia Agropecuaria, vol. 10, n° 4, pp. 469-477, 2019.
- J. Perez, Micorrizas, Mexico: Elsevier, 2019.
- A. Kloster, C. Bainotti, C. Cazorla, A. Amigone, G. Donaire y T. Baigorria, «Triticale. Un cultivo invernal plástico y multifunciona,» Revista Técnica de la Asociación Argentina de Productores de Siembra Direct, vol. 1, pp. 50-56, 2013.

Propiedades Catalíticas de Zeolita y Modificada con Hierro por Ultrasonido: Oxidación Parcial de Benceno a Fenol

MCS. Victor Alfredo Reyes Villegas¹, MCS. Jesús Isaías de León Ramírez²,
Dr. Sergio Pérez Sicauros³, MSP. José Román Chávez Méndez⁴, Dr. Miguel Ángel Hernández Espinosa⁵ y Dr.
Vitalii Petranovskii Pavlovich⁶

Resumen—Las zeolitas son materiales con estructuras porosas, una de las más exploradas en catálisis es la Faujasita de tipo Y modificada con Fe. Sin embargo, existe la limitante de no poder distinguir entre las distintas especies activas de hierro, por ende, los sitios activos para ciertas reacciones son inciertos. En este trabajo, se modifica una Y con Fe por sonoquímica, para la producción de fenol (producto con valor agregado) a partir de un contaminante carcinogénico (benceno). De los catalizadores fabricados se seleccionaron 2 para la ruta de benceno a fenol, de acuerdo con un estudio de screening. Los cuales se sometieron a una optimización por medio de una metodología de respuesta de superficie. Los resultados sugieren que el método sonoquímico es una alternativa para el diseño de una zeolita Y con Fe con propiedades y aplicaciones específicas, así mismo contribuyendo al estudio de sitios activos de Fe.

Palabras clave—Catálisis, Zeolita, Hierro, Sonoquímica, Fenol.

Introducción

Las zeolitas son aluminosilicatos dispuestos en tetraedros formando estructuras porosas. Actualmente se han descrito más de 248 estructuras diferentes, las cuales pueden ser naturales o artificiales. Dentro de estos materiales tenemos la estructura de Faujasita (FAU), una zeolita natural, que fue descubierta en rocas basálticas y posteriormente sintetizada en el laboratorio (IZA). Las FAU que actualmente son sintetizadas se utilizan principalmente en procesos de intercambio iónico o como catalizadores para el fraccionamiento de hidrocarburos.

Las FAU han mostrado gran potencial catalítico cuando son modificadas con elementos de tierras raras y/o metales de transición (Oruji et al., 2019). Uno de los metales más utilizados debido a su disponibilidad y potencial catalítico es el hierro (Fe), ya que se ha visto que tiene la capacidad de catalizar distintas reacciones (Long et al., 2007). Sin embargo, la caracterización para estos materiales, Faujasita con Fe, aún tienen una limitante para poder distinguir entre las especies de hierro presentes y por ende los sitios activos para ciertas reacciones (van Bokhoven & Lambert, 2014).

Por estas razones se propone estudiar la modificación de la FAU Y con Fe, por un método que nos permita tener condiciones homogéneas, reproducibles y selectivas para ciertos sitios activos. Con la intención de poder afinar las especies de hierro presentes en la zeolita (Chlebeda et al., 2018). En este trabajo, se modifica una zeolita Y con hierro por un método sonoquímico y se evalúan las propiedades catalíticas para la reacción de oxidación parcial de benceno a fenol. Reacción que se utiliza para producir un producto con valor agregado (fenol) a partir de un contaminante carcinogénico (benceno) (Pérez & Manuel Sánchez-Sánchez, 2018).

Descripción del Método

Material y Métodos

La modificación de la Faujasita Y (CBV500, suministrado por Zeolyst International) con hierro se lleva a cabo en dos pasos, de manera breve primero se realiza un intercambio iónico a pH 3 con Fe^{2+} (FeY). Después, la modificación se lleva a cabo en un buffer de amonio a pH 5 o 9 a 60 °C en sonicación, colocando 2g de FeY y posteriormente

¹ El MCS. Victor Alfredo Reyes Villegas es doctorante de Ciencias en Nanociencias en el Centro de Nanociencias y Nanotecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Ensenada, Baja California, México. vreyes@ens.cnyn.unam.mx (autor corresponsal)

² El MCS. Jesús Isaías de León Ramírez es doctorante de Ciencias en Nanociencias en el Centro de Nanociencias y Nanotecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Ensenada, Baja California, México. jdeleon@ens.cnyn.unam.mx

³ El Dr. Sergio Pérez Sicauros es profesor investigador del Centro de Graduados e Investigación del Instituto Tecnológico de Tijuana, Tijuana, Baja California, México. sperez@tectijuana.mx

⁴ El MSP. José Román Chávez Méndez es profesor de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Autónoma de Baja California, Tijuana, Baja California, México. roman.chavez@uabc.edu.mx

⁵ El Dr. Miguel Ángel Hernández Espinosa es profesor investigador del Departamento de Investigación en Zeolitas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, Puebla, México. miguel.hernandez@correo.buap.mx

⁶ El Dr. Vitalii Petranovskii Pavlovich es profesor investigador Centro de Nanociencias y Nanotecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Ensenada, Baja California, México. vitalii@ens.cnyn.unam.mx

adicionando una solución de Fe (II) , Fe (III) o una relación molar de 1:1 de estos, Fe (II/III), con una concentración final de 0.5 o 1%. Se deja reaccionar la mezcla por 30 min y enseguida se lava con exceso de agua por filtración, se seca el filtrado a 90 °C y se muelen los polvos en mortero de Agatha. Las series de las muestras se nombraron como se menciona a continuación, para las muestras de la serie a pH 5 y de Fe (II) ,Fe (III) y Fe (II/III) al 5 %, se nombraron FeY0.5(II), FeY0.5(III) y FeY0.5(II/III), respectivamente. Las muestras modificadas a condiciones de pH 5 pero al 1% con Fe (II), Fe (III) y Fe (II/III), como FeY(II), FeY(III) y FeY(II/III), respectivamente y para el pH 9 a 1% con Fe (II) ,Fe (III) y Fe (II/III), como FeY(II)9, FeY(III)9 y FeY(II/III)9, respectivamente. A estas series se les agrega un blanco denominado FeY0 Y FeY09, que son muestras de FeY que fueron sonicadas a las condiciones de reacción de la modificación sin agregar más hierro de que se había adicionado para el intercambio.

Actividad Catalítica

Para evaluar la actividad catalítica en la reacción de oxidación parcial de benceno a fenol, primero se realizó un experimento de screening, pruebas realizadas a condiciones conocidas colocando 10 mg de muestra en una solución a 5,000 ppm de benceno a 90 °C por 30 minutos. Pasado el tiempo, se retira el catalizador por centrifugación a 10,000 rpm por 10 minutos a 5°C. En seguida, se midió el sobrenadante por UV-Vis a 255 nm para obtener la cantidad de benceno. Posteriormente se cuantifico el contenido de fenol midiendo el complejo de fenóxido de color violeta a 428 nm, que se forma con la reacción colorimétrica de $FeCl_3$. Por último, se realizó una optimización con un modelo de respuesta de superficie (RSM) para la muestra con mayor potencial para la producción de fenol, obteniendo que factores son significativos, para predecir la conversión de benceno a fenol. Los factores empleados fueron: temperatura, tiempo y concentración de catalizador; los cuales fueron nombrados como a, b y c, respectivamente.

Caracterización

Los materiales empleados en el experimento de optimización fueron caracterizados por difracción de rayos X (XRD), potencial zeta (ζ), espectroscopia infrarroja (ATR- FTIR), espectroscopia de UV-Vis y espectroscopia de fotoelectrones de rayos X (XPS). En el caso de las espectroscopias, se realizaron deconvoluciones para obtener los porcentajes presentados.

Comentarios Finales

Resumen de resultados

Las muestras presentaron propiedades organolépticas relacionadas en color con ligeras modificaciones en color, pero comparando la respuesta óptica por FT-IR y UV-Vis (datos no presentados), se detectan variaciones que pudieran ser indicativas para algunas especies de hierro (Tabla 1). Las diferencias pudieran atribuirse a diferentes concentraciones de partículas, óxidos, cúmulos y/o especies de hierro en coordinación octaédrica y tetraédrica. De acuerdo con la complejidad de la química del hierro, la caracterización de las especies y formas de hierro en estas muestras es limitada. Por lo tanto, dejando una incertidumbre en la asociación de uno o varios sitios activos específicos que se forman (Chlebda et al., 2018). Sin embargo, de acuerdo con los cambios observados podemos crear una correlación y asociar estos cambios a las condiciones de modificación utilizadas: pH, estado de oxidación y concentración del hierro.

Al realizar el screening (Figura 1) todas las muestras presentan cierto % de remoción de benceno, lo cual puede ser atribuido a una adsorción y/o conversión catalítica (Somma et al., 2021). Entre las muestras que comparten condiciones de modificación, se observa una consistencia en el % de remoción, sin embargo, se seleccionó como mejor candidato para esta reacción la muestra FeY(II/III). Esta decisión es considerando que en todas las muestras se observa una remoción de benceno, en las muestras a 0.5% de Fe, se removió más del 74% de benceno, las muestras con 1% de Fe y un solo tipo de ion agregado en el paso de modificación removieron menos del 70 % y las muestras: Y, FeY, FeY0, FeY (II/III) y FeY09 removieron menos de 80% pero más de 68%. Específicamente para estas últimas la cantidad de benceno removido de la solución fue ± 3 % de la cantidad que removió la Y sin agregar hierro. Lo cual significa que los tratamientos dados a la Y con Fe, no modifica el equilibrio de transferencia de masa de la reacción que se esté llevando a cabo en la remoción de benceno (Guo et al., 2015). Esto, debido a que las diferencias en la remoción de benceno (%) son mínimas o prácticamente inexistentes. Favoreciendo a la comprensión del mecanismo de reacción que se esté llevando a cabo, ya que al agregar más factores la complejidad del catalizador aumenta, pero no el mecanismo. En pocas palabras, agregar hierro por ultrasonido puede no modificar la cantidad de benceno que se remueve. Por otro lado, el siguiente punto a considerar es la cantidad de fenol que se está produciendo. En la figura 1B, se muestra la cantidad de fenol detectada en cada reacción, donde destaca la FeY(II/III). Lo interesante de esta muestra es que al introducir la relación molar 1:1 de hierro en estado divalente y trivalente, ya sea a la Y, FeY o FeY0 la remoción de benceno se mantiene, pero aumenta la producción de fenol. Lo cual indica una mayor selectividad para la reacción de

oxidación parcial de benceno a fenol y por ende un aumento de sitios activos específicos para esta reacción (Chlebda et al., 2018). Esto sugiere que el tratamiento que se le da a las muestras a pH 3 genera sitios activos de Fe para la ruta de benceno a fenol, y al agregar hierro divalente y trivalente a pH 5, se producen aún más sitios activos.

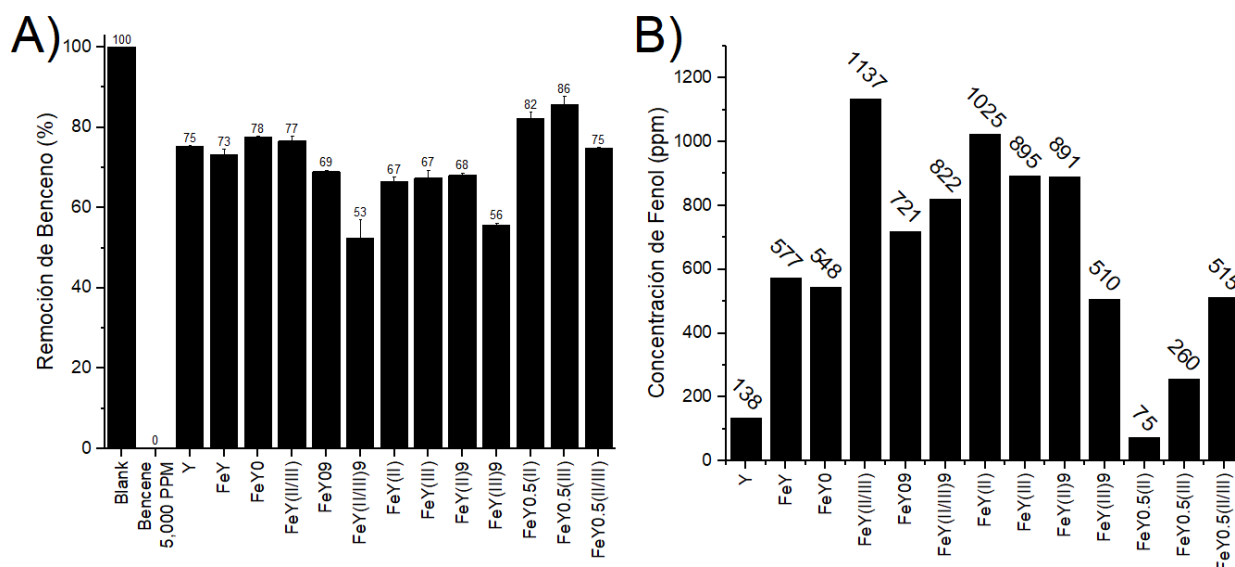


Figura 1: A) Remoción de benceno (%) y B) concentración de fenol (ppm) detectado en la reacción con 10 mg de catalizador a 90 °C por 30 min.

De acuerdo con los puntos mencionados anteriormente, la muestra FeY(II/III) es el mejor candidato de entre las muestras fabricadas para el estudio de la oxidación parcial de benceno a fenol. Con respecto al análisis de optimización (Figura 2), esta muestra presenta para el % de remoción de benceno que los efectos principales se deben a los factores a ($p=0.0004$), c ($p=0.0014$) y la interacción entre ab ($p=0.0010$). Comparado con la zeolita Y sin modificar, donde el único factor significativo fue a ($p=0.0033$), podemos decir que al modificar la zeolita con la metodología utilizada para fabricar FeYFe (II/III), tenemos mayor capacidad para manipular el % de remoción de benceno. Por otro lado, para la conversión de benceno a fenol se obtuvo una mayor respuesta con 4 factores con efectos significativos, dentro de los cuales los más representativos fueron a ($p=0.0012$), b ($p=0.0338$), c ($p=0.0259$) y la interacción ac (0.0394). En cambio, los efectos significativos para la zeolita Y sin modificar se debe a los factores: a ($p=0.0004$), b ($p<0.0001$), la interacción ab ($p=0.0102$) y bc ($p=0.0237$), donde todos los factores dependen ya sea del tiempo o de la temperatura, pero ninguno de la concentración del catalizador. Por lo tanto, podemos decir que el método utilizado genera un material, FeYFe (II/III), con actividad catalítica para la oxidación parcial de benceno a fenol. Ya que, en ambos casos, % de remoción de benceno y % de rendimiento de síntesis fenol, tienen como efecto significativo la concentración de catalizador.

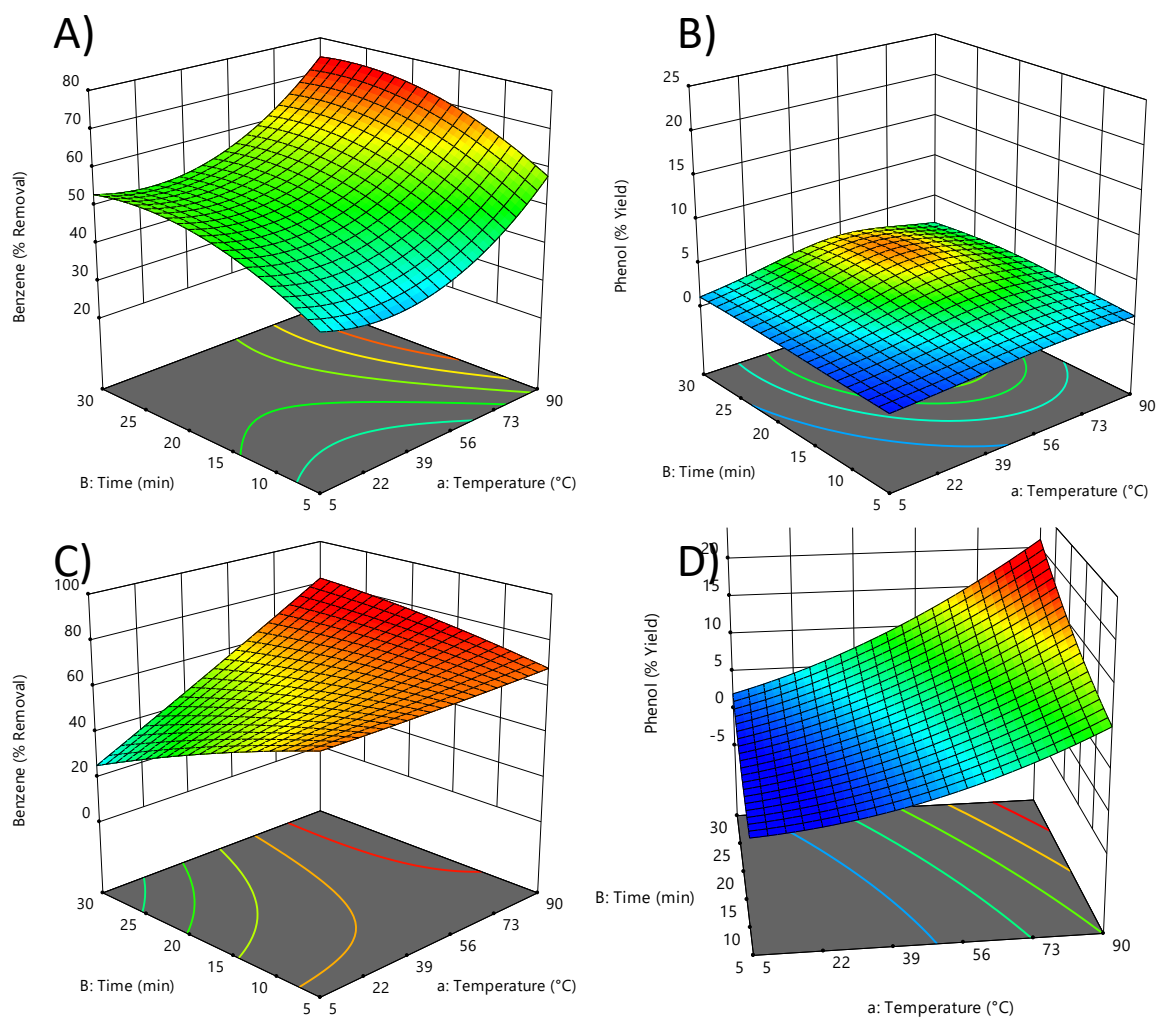


Figura 2: Graficas de metodología de respuesta de superficie para el % de remoción de benceno y % de rendimiento para la producción de fenol de la zeolita Y A) y B) y modificada con hierro, FeYFe (II/III) C) y D).

Caracterización:

Los materiales caracterizados no presentan gran diferencia en el patrón de XRD y solo se logra identificar una fase, lo cual nos indica que la estructura de Y se mantiene (Figura 3). Sin embargo, si hay ligeros desplazamientos que contribuyen al tamaño de la celda (Tabla 1). Lo que nos da un indicio de que pudiéramos tener hierro en la muestra. Posteriormente en el ζ , este tiene un cambio de positivo a negativo, lo cual sugiere que probablemente tenga más ácidos de Lewis. En la espectroscopia IR el mayor cambio detectado es en la vibración de OH con centro en $3, 134 \text{ cm}^{-1}$ (que significa esto) Por medio de la espectroscopia de UV-Vis se detecta que el band gap al agregar hierro disminuye de 5.47 a 3.47 eV y la deconvolución aplicada al espectro de UV-Vis da como resultado que el hierro presente se localiza en tetraedros, octaedros y en cúmulos con un 60, 25 y 15 % respectivamente. Comparando estos porcentajes con la información adquirida por XPS tenemos que 73, 23 y 4 % del hierro se encuentra en forma de FeOOH, Fe (III) y Fe (II).

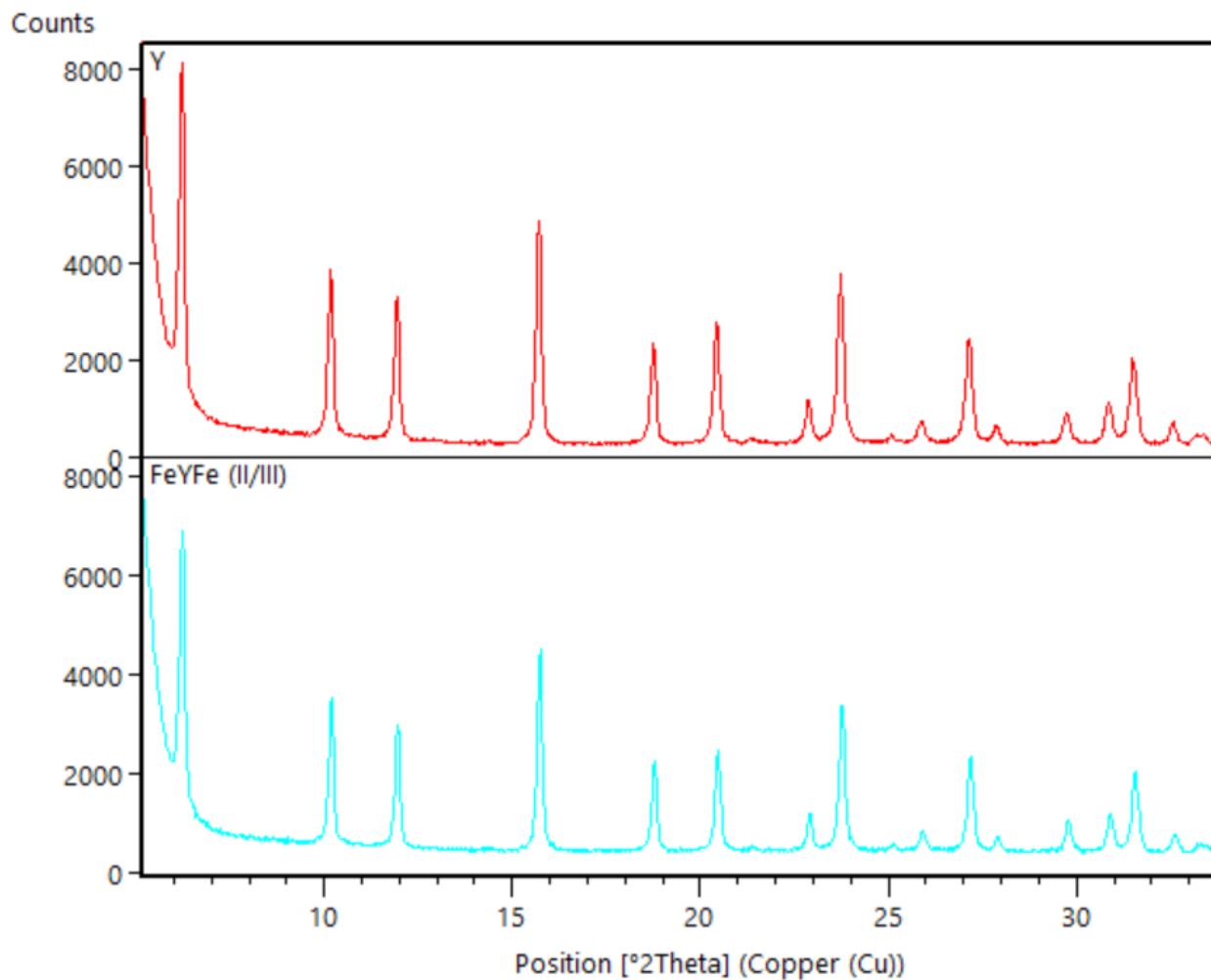


Figura 3: Patrones de difracción de rayos X de Y y FeYFe(II/III)

Tabla 1: Comparación de tamaño de celda, ζ , band gap y contenido de hierro entre Y y FeYFe (II/III)

Prueba	Parámetro	Muestra	
		Y	FeYFe (II/III)
XRD	Cell Size	24.2825	24.2242
	Potencial ζ (mV)	28.7	-11.7
IR	Center	3133.58034	3209.94536
	% Intensidad	12	18
	Tetraedros	0	60
UV-vis (%)	Octaedros	0	25
	Cumulos	0	15
	Band Gap (Ev)	5.47	3.47
XPS	FeOOH	0	73
	Fe (III)	0	23
	Fe (II)	0	4

Conclusiones

El método sonoquímico para la modificación de una zeolita Y con Fe muestra ser una alternativa para la síntesis selectiva para algunas especies de hierro. Ampliando la capacidad de poder generar materiales con propiedades diferentes al modificar ciertas condiciones o factores en una proporción mínima, como lo es la concentración, el estado de oxidación o incluso el pH. Por lo cual, el método sonoquímico tiene un gran potencial para la producción de materiales con la opción de poder afinar las propiedades de estos proporcionando la capacidad para diseñar materiales. El siguiente paso siguiendo esta ruta, sería encontrar las condiciones de reacción bajo irradiación ultrasónica, que más influyen en las distintas propiedades de nuestros materiales y poder diseñar, crear y utilizar materiales con aplicaciones específicas.

Referencias

- Chlebda, D. K., Stachurska, P., Jędrzejczyk, R. J., Kuterasiński, Ł., Dziedzicka, A., Górecka, S., Chmielarz, L., Łojewska, J., Sitarz, M., & Jodłowski, P. J. (2018). DeNO_x abatement over sonically prepared iron-substituted Y, USY and MFI Zeolite catalysts in lean exhaust gas conditions. *Nanomaterials*, 8(1). <https://doi.org/10.3390/nano8010021>
- Guo, D., Shen, B., Qin, Y., Sun, J., Guo, Q., Ren, S., Gao, X., Pang, X., Wang, B., Zhao, H., & Liu, H. (2015). USY zeolites with tunable mesoporosity designed by controlling framework Fe content and their catalytic cracking properties. *Microporous and Mesoporous Materials*, 211, 192–199. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2015.02.004>
- Long, J., Wang, X., Zhang, G., Dong, J., Yan, T., Li, Z., & Fu, X. (2007). A mononuclear cyclopentadiene-iron complex grafted in the supercages of HY zeolite: Synthesis, structure, and reactivity. *Chemistry - A European Journal*, 13(28), 7890–7899. <https://doi.org/10.1002/chem.200700505>
- Oruji, S., Khoshbin, R., & Karimzadeh, R. (2019). Combination of precipitation and ultrasound irradiation methods for preparation of lanthanum-modified Y zeolite nano-catalysts used in catalytic cracking of bulky hydrocarbons. *Materials Chemistry and Physics*, 230(December 2018), 131–144. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.03.038>
- Pérez, J., & Manuel Sánchez-Sánchez Editors, P. (n.d.). *Structure and Reactivity of Metals in Zeolite Materials*. <http://www.springer.com/series/430>
- Somma, S., Reverchon, E., & Baldino, L. (2021). Water purification of classical and emerging organic pollutants: An extensive review. In *ChemEngineering* (Vol. 5, Issue 3). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/chemengineering5030047>
- van Bokhoven, J. A., & Lamberti, C. (2014). Structure of aluminum, iron, and other heteroatoms in zeolites by X-ray absorption spectroscopy. In *Coordination Chemistry Reviews* (Vol. 277, pp. 275–290). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2014.05.013>

Cadena De Suministro De Dos Escalones En La Industria Petrolera

Est. Jairo Sanluis Cervantes¹ y Dra. Araceli López y López²

Resumen— En el presente trabajo se aborda el problema de transporte de productos derivados del petróleo en México, aunado a esto, se tienen las siguientes preguntas: ¿cuáles son los costos de transporte total?, ¿cuántas TAD's conviene abrir para abastecer una zona territorial?, ¿qué cantidad de cada producto debe enviarse a cada gasolinera?, de tal manera que se minimicen los costos de transporte. El problema se analiza como uno de logística de la cadena de suministro con dos escalones, se obtuvo su respectivo modelo matemático y se resolvió utilizando programación lineal, se aplica al caso de transporte de derivados del petróleo en la ciudad de Apizaco, Tlaxcala, Mex. Obteniendo como resultados; el número de centros de distribución necesarios, la cantidad de productos enviados desde las refinерías a las TAD's y de estas últimos a las diferentes gasolineras de la ciudad, dependiendo de su demanda y minimizando costos de transporte.

Palabras clave—programación entera, cadena de suministro, logística.

Introducción

La explotación petrolera como fuente de energía se inició en la segunda mitad del siglo XIX a nivel mundial; sin embargo, en México el petróleo no tuvo ninguna injerencia en dicho siglo, ya que las fuentes de energía que se usaban era la biomasa, en forma de leña, el carbón vegetal, un poco de energía hidráulica y el carbón mineral.

Fue hasta el siglo XX cuando México empezó a valorar su riqueza biológica originando así su gran recurso del petróleo.

El 7 de junio de 1983, el presidente de México, el General Lázaro Cárdenas promulga el decreto que dio origen a la institución Petróleos Mexicanos (PEMEX), donde se establece que dicha institución se encargaría de los bienes muebles e inmuebles que fueron expropiados a las empresas petroleras extranjeras que en ese tiempo tenían bajo su control la explotación del petróleo, así como de las operaciones de exploración de hidrocarburos, refinación, almacenamiento, distribución y comercialización de productos petroleros y petroquímicos (PEMEX, 1988).

La industria petrolera mexicana constituye un aspecto fundamental en la historia e identidad de México y ha sido por lo tanto centro de las decisiones económicas y políticas del país.

En este trabajo se analiza un problema de distribución multiproducto en dos escalones (Two Echelon Multicommodity - TEMC) y consiste en lo siguiente: PEMEX envía sus destilados de petróleo (los cuales son gasolinas, gases combustibles y productos de uso industrial) desde sus refinерías, complejos petroquímicos, terminales terrestres o marítimas hasta las distintas estaciones de servicio en México, para ser vendidos finalmente al consumidor. De la demanda de estos destilados surge la pregunta, ¿cómo distribuir los productos a las diferentes estaciones de servicio, de tal manera que se minimice el costo total de transporte y se satisfaga la demanda? En la Figura 1 y la Figura 2 se muestran como están distribuidas las refinерías y las Terminales de Almacenamiento y Distribución (TAD's) de PEMEX a lo largo del país de México.

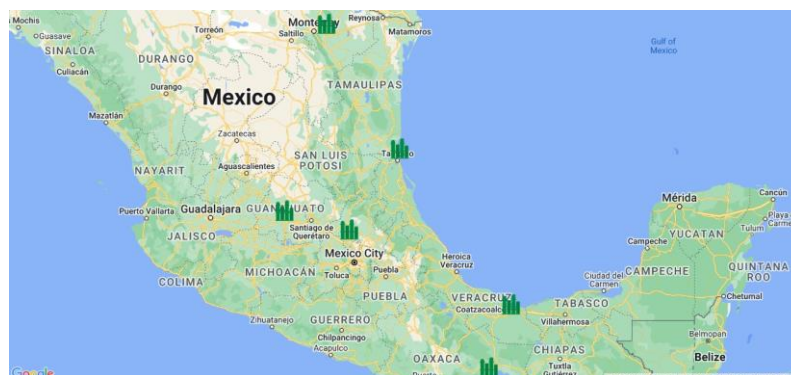


Figura 1. Refinerías de PEMEX en México. Mapa tomado de la pág. de PEMEX 2023.

¹ El C. Jairo Sanluis Cervantes es estudiante de la Licenciatura en Matemáticas Aplicadas de la Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Tecnología de la Universidad Autónoma de Tlaxcala. 20183919@garzas.uatx.mx.

² La Dra. Araceli López y López, es profesora de la Licenciatura en Matemáticas Aplicadas de la Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Tecnología de la Universidad Autónoma de Tlaxcala. araceli.lopez@uatx.mx.



Figura 2. Terminales de Almacenamiento y Distribución de PEMEX en México. Mapa tomado de la pág. de PEMEX 2023.

Este problema es modelado en el presente trabajo como uno de logística y aplicado al caso de la ciudad de Apizaco, Tlaxcala, México.

Problema

Petróleos Mexicanos (PEMEX) es una empresa productora, transportista, refinadora y comercializadora de petróleo y gas natural de México. Petróleos Mexicanos opera por conducto de un corporativo, empresas y filiales productivas subsidiarias las cuales son:

- Pemex Exploración y Producción
- Pemex Transformación Industrial
- Pemex Logística

Las cuales cuentan con seis refinерías, dos complejos petroquímicos y nueve complejos procesadores de gas, además, 83 terminales terrestres y marítimas, así como poliductos, buques, carros tanque y autos tanque, para abastecer a las más de 11 mil estaciones de servicio a lo largo del país (PEMEX, 2022).

El producto se distribuye a través de ductos subterráneos y camiones-tanque que salen de los complejos de transformación y refinерías hasta las terminales de almacenamiento donde posteriormente es llevado a cada gasolinera.

Todo este sistema de distribución implica una toma de decisiones importantes en cada paso, como pueden ser: ¿qué cantidad enviar de cada producto de las refinерías a las TAD's, y de estos a las gasolineras?, ¿cuántas TAD's pueden ser aperturadas, de tal manera que se minimice el costo total de envíos? Por lo cual se analizará dicho sistema para ver si estas son las mejores para dar abastecimiento y satisfacer la demanda de a las gasolineras.

Esta logística fue aplicada para la ciudad de Apizaco, Tlaxcala, la cual cuenta con seis gasolineras que venden diésel, gasolina premium y magna. Se consideran las seis refinерías del país, y también las ocho terminales de almacenamiento y distribución (TAD) que se encuentran más próximas a las gasolineras. De esta información se genera un esquema principal del problema, véase la Figura 3.

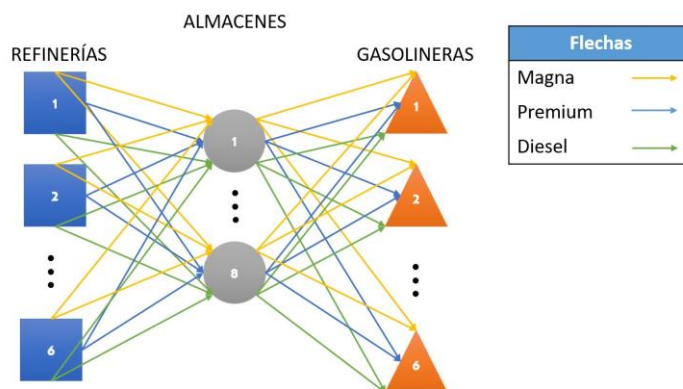


Figura 3. Esquema principal del problema. Elaboración propia.

Este problema se modela como uno de cadena de suministro, se utiliza un modelo de distribución multiproducto de dos escalones.

Modelo Matemático

Se utiliza un modelo de sistemas de distribución de productos múltiples por descomposición de Benders, con dos bloques o dos escalones. Se presenta a continuación.

$$\begin{aligned}
 & \text{Minimizar} \\
 Z &= \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^6 \sum_{k=1}^8 \sum_{l=1}^6 C_{ijkl} X_{ijkl} + \sum_{k=1}^8 \left[F_k B_k + V_k \sum_{l=1}^6 \left(\sum_{i=1}^3 D_{il} \right) Y_{kl} \right] \\
 & \text{Sujeto a:} \\
 & \sum_{k=1}^8 \sum_{l=1}^6 X_{ijkl} \leq S_{ij} \quad \forall i = \overline{1,3} \text{ y } j = \overline{1,6} \quad (1) \\
 & \sum_{j=1}^6 X_{ijkl} = D_{il} Y_{kl} \quad \forall i = \overline{1,3}, k = \overline{1,8} \text{ y } l = \overline{1,6} \quad (2) \\
 & Vmin_k B_k \leq \sum_{l=1}^6 \left(\sum_{i=1}^3 D_{il} \right) Y_{kl} \leq Vmax_k B_k \quad \forall k = \overline{1,8} \quad (3) \\
 & \sum_{k=1}^8 B_k = P \quad (4) \\
 & \sum_{k=1}^8 Y_{kl} = 1 \quad \forall l = \overline{1,6} \quad (5) \\
 & X_{ijkl} \geq 0 \quad \forall i = \overline{1,3}, j = \overline{1,6}, k = \overline{1,8} \text{ y } l = \overline{1,6} \quad (6) \\
 & Y_{kl} \in \{0,1\} \quad \forall k = \overline{1,8} \text{ y } l = \overline{1,6} \quad (7) \\
 & B_k \in \{0,1\} \quad \forall k = \overline{1,8} \quad (8)
 \end{aligned}$$

Donde la función objetivo (Z) minimiza el costo total resultante de la suma de los costos de transporte, los costos fijos de las TAD's y los costos variables de cada demanda. La ecuación (1) indica que la cantidad total enviada no pueden sobrepasar la capacidad de la refinería para producir los productos. La ecuación (2) afirma que el monto de productos enviados a las gasolineras debe ser igual a la cantidad de productos producidos en las refinерías. La ecuación (3) impone el límite inferior y superior de almacenamiento de cada TAD que se utiliza. La ecuación (4) establece el número de TAD's a aperturar. La ecuación (5) muestra que cada cliente es atendido por una sola TAD. La ecuación (6) de no negatividad de decisión. Finalmente (7) y (8) las variables binarias utilizadas en este modelo.

Datos

Se necesitan las capacidades de producción de las refinерías, las capacidades máximas y mínimas de almacenamiento en cada TAD, para este caso se propone una demanda determinista, los costos de transporte de la refinерía a la TAD, y de la TAD a la gasolinera, los costos de utilización de cada TAD, y cuantas TAD's se quieren aperturar con el objetivo de minimizar el costo total de distribución.

La siguiente información se obtuvo del anuario estadístico que publica la empresa PEMEX cada año, se muestran datos del año 2020 (Anuario Estadístico 2020, 2021). La tabla 1 muestra la producción de gasolinas y diésel de cada refinерía según su capacidad, así la refinерía en la ciudad de Cadereyta produce 31720 barriles de gasolina magna, 520 barriles de gasolina premium y 19760 barriles de diésel.

REFINERÍA	PRODUCTO		
	MAGNA	PREMIUM	DIESEL
CADEREYTA	31720	520	19760
CD MADERO	27450	450	17100
MINATITLÁN	25925	425	16150

SALAMANCA	28975	475	18050
SALINA CRUZ	38430	630	23940
TULA	29280	480	18240

Tabla 1. Producción de gasolinas y diésel del año 2020. Elaboración propia.

De una investigación de campo la Tabla 2 muestra las capacidades de cada gasolinera en la ciudad de Apizaco, Tlaxcala, la gasolinera Vázquez tiene capacidad de 4000 litros de gasolina magna, 250 litros de gasolina premium y 4000 litros de diésel.

GASOLINERA	PRODUCTO		
	MAGNA	PREMIUM	DIESEL
NUEVO	4000	250	4000
VAZQUEZ	4000	250	4000
IBERO	4000	250	4000
CENTRO	4000	250	0
PLAZA	4000	250	4000
BP	4000	250	4000

Tabla 2. Capacidad de cada producto en las gasolineras de la ciudad de Apizaco. Elaboración propia.

En el año 2020 en la revista Milenio se publicó un artículo sobre el costo de transportar la gasolina en todas las formas, por ducto, barco, tren o pipa, y para el trabajo que se presenta se considera que el costo por pipa que es de \$1.08 por kilómetro (Herrera, 2020).

Solución

El modelo matemático se resolvió utilizando el software especializado en optimización de LINGO en su versión 15. En la Figura 4 se muestra la solución del modelo.

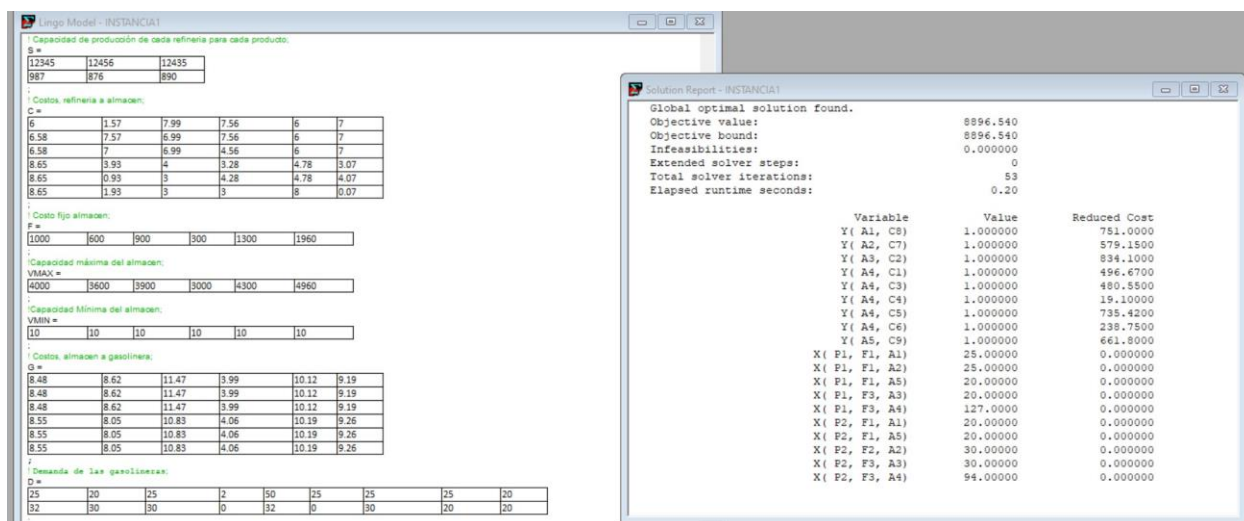


Figura 4. Solución del modelo en el software LINGO 15. Elaboración propia.

Resultados

Considerando la apertura de solo tres de las ocho posibles TAD's para satisfacer la demanda de las seis gasolineras en la ciudad de Apizaco, la Figura 5 muestra los resultados obtenidos.

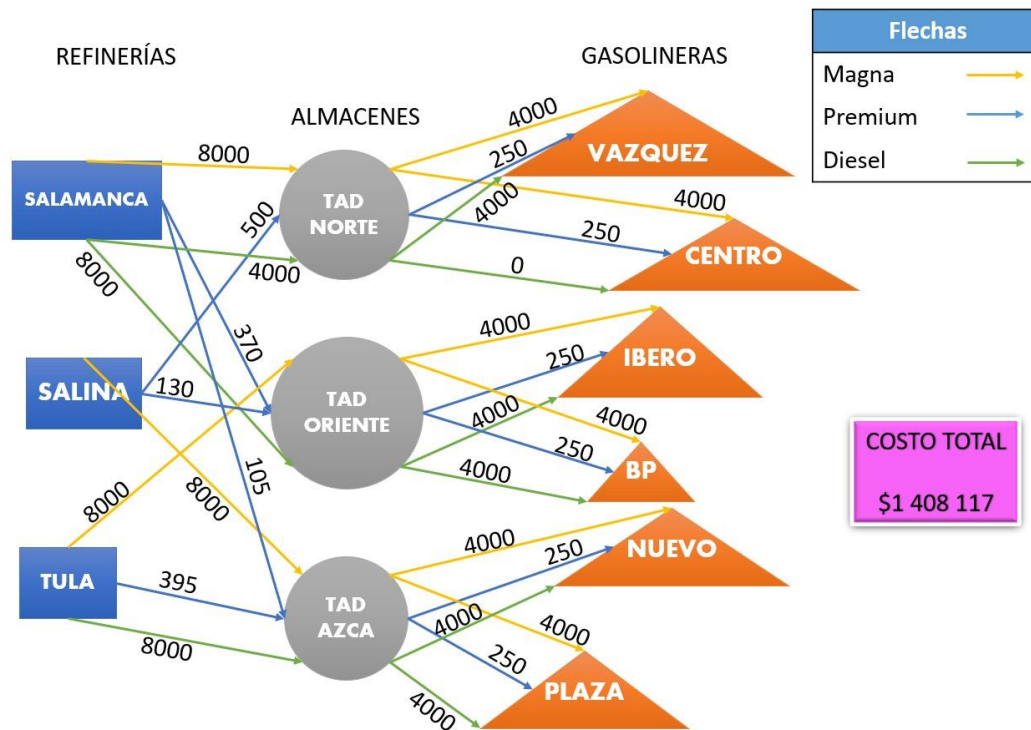


Figura 5. Diagrama de la solución. Elaboración propia.

El software considera las seis refinerías en el país, pero la solución óptima indica que es mejor utilizar las refinerías que están en Salamanca, Salina Cruz y en Tula. El diagrama de solución indica que de la refinería que se encuentra en Salamanca se deben producir y mandar 8000 barriles de gasolina magna a la TAD del Norte, de ahí se envían 4000 barriles a la gasolinera Vázquez y 4000 barriles a la gasolinera del Centro. En la refinería de Salina Cruz se deben producir y enviar 630 barriles de gasolina premium, 500 barriles se envían hacia la TAD del Norte; los cuales 250 barriles van a la gasolinera Vázquez y 250 barriles a la gasolinera del Centro, y 130 barriles hacia el TAD de Oriente; de aquí se envían 250 barriles a la gasolinera Ibero y 250 barriles a la gasolinera BP. De la refinería que se encuentra en Tula, se deben producir 8000 barriles de diésel que se distribuirán hacia la TAD de Azcapotzalco, de esta Terminal se distribuyen 4000 barriles a la gasolinera Nuevo y 4000 barriles a la gasolinera de la Plaza, se aplica esta misma manera de leer el diagrama completo. La solución óptima que se muestra en la Figura 5 establece que el costo mínimo total de realizar toda la logística de esa manera es de \$1408117.

Comentarios Finales

El utilizar las matemáticas para resolver un problema real, en este caso el de transporte de derivados del petróleo, muestra que es útil saber, conocer y hacer uso de ellas. Esta problemática surge a partir del robo de combustible a nivel nacional. El gobierno propuso un cambio en la logística de la distribución de estos productos pero no tenían una respuesta certera a preguntas como; qué cantidad de productos deben enviarse de una instalación a otra con el menor costo total posible y estableciendo el número de centros de distribución, para satisfacer las demandas de las gasolineras, y este trabajo se plantea la modelo para poder responder esas preguntas minimizando costos y cumpliendo con las demandas de cada estación de servicio.

Conclusiones

Se obtuvo la solución óptima de distribuir los derivados del petróleo producidos en las refinerías los cuales son enviados a las diferentes Terminales de Almacenamiento y Distribución y de estas a las diferentes gasolineras de la ciudad de Apizaco, dependiendo de su demanda, de tal manera que se minimizaron los costos de transporte.

Se obtuvo un modelo matemático genérico que puede ser aplicado a cualquier problema de la cadena de suministro de dos escalones y en este trabajo se mostró un estudio de caso; aplicación del modelo en la problemática de transporte de derivados del petróleo en la ciudad de Apizaco Tlaxcala, México.

Referencias

Anuario Estadístico 2020. (2021). PEMEX. Recuperado 10 de septiembre de 2022, de https://www.pemex.com/ri/Publicaciones/Anuario%20Estadistico%20Archivos/Anuario-Estadistico_2020.pdf

Herrera, E. (2020, 18 febrero). Transportar gasolina en México es más caro. Grupo Milenio. <https://www.milenio.com/negocios/transportar-gasolina-en-mexico-es-mas-caro>

Petróleos Mexicanos, El petróleo de México, México, Pemex, 1988, t. I, p. 45.

PEMEX — Nuestro negocio. (s/f). Pemex.com. Recuperado el 17 de marzo de 2022, de <https://www.pemex.com/acerca/Paginas/default.aspx>

Transferencia Efectiva de Aprendizajes al Contexto Rural

Gabriela Suárez Franco¹, Ángela Susana Vázquez Pérez²,
José Luis Suárez Franco³

Resumen— La redacción eficiente de documentos que transmiten conocimiento en las diferentes áreas del saber es una habilidad que se logra con la práctica y es parte medular en la formación de estudiantes universitarios. El presente trabajo tiene como objetivo que el estudiante de nivel superior redacte de forma eficiente y efectiva un folleto de divulgación científica atendiendo los saberes teóricos, heurísticos y axiológicos de dos experiencias educativas cursadas durante la formación académica profesional en la Universidad Veracruzana. Con base en lo anterior, el estudiante logra transversalizar el conocimiento al elaborar un documento que expone de forma clara, coherente, precisa y adecuada el tema en cuestión utilizando un lenguaje sencillo y accesible para el productor de zonas rurales en el estado de Veracruz. El tema central del folleto fue en higiene alimentaria dado que el desconocimiento del mismo origina la aparición de enfermedades.

Palabras clave— higiene, divulgación, seguridad, alimentos.

Introducción

Los problemas de salud pública con mayor impacto a la población a nivel mundial y nacional son las enfermedades transmitidas por alimentos (ETA) pues además de alterar el estado saludable de los individuos también tienen efectos negativos en la economía, productividad de los individuos, incremento en la demanda de servicios médicos y hospitalarios, incremento de costos para la industria de alimentos (por señalar algunos factores) de las naciones que padecen dicho problema (Rodríguez Torrens *et al.*, 2015). Las ETA son enfermedades originadas por la ingestión de alimentos y/o agua contaminados con microorganismos o sustancias tóxicas que afectan la salud del consumidor a nivel individual o en grupos de población. Son un indicador de la calidad sanitaria de los alimentos y afectan a todo individuo, es decir, desde la infancia hasta la vejez, siendo poblaciones con bajos niveles de salubridad y alta pobreza susceptibles a padecer desde diarreas hasta incluso la muerte por arriba de los tres millones anualmente (Hanson *et al.*, 2012).

Se estima que son más de 200 patógenos responsables de infecciones transmitidas por los alimentos (Gadiel, 2010; McLinden, 2013; McLinden *et al.*, 2014) y aunque en México existen proyectos que involucran acciones de control sanitario, es evidente la importante intervención y responsabilidad del médico veterinario en la prevención de enfermedades transmitidas por animales (zoonosis) pues ya fue señalado por FAO/OMS/OIE en la Conferencia Electrónica en Salud Pública Veterinaria y Control de Zoonosis en países en desarrollo, en donde de forma clara se determinó que los programas de salud pública deben estar dirigidos directamente al individuo, grupos pequeños y/o comunidades con el propósito de educar a la población en métodos y prácticas que puedan ser llevados a cabo a bajo costo y con el mínimo de equipamiento y materiales. Si bien es cierto que la contaminación de alimentos puede prevenirse mediante el control adecuado de procesos (HACCP) a nivel industrial, también es cierto que éstos no son factibles de implementarse a nivel del pequeño productor, procesador y comercializador de alimentos a nivel local y regional.

Es entonces en donde el rol del futuro médico veterinario zootecnista adquiere un papel primordial en la salud pública veterinaria, particularmente en materia de educación, divulgación y entrenamiento de pequeños grupos dedicados a la producción local de alimentos que tienen como punto de partida el manejo de animales de doble propósito.

Descripción del Método

Los problemas de salud pública con mayor impacto a la población a nivel mundial y nacional son las enfermedades transmitidas por alimentos (ETA) pues además de alterar el estado saludable de los individuos también tienen efectos negativos en la economía, productividad de los individuos, incremento en la demanda de servicios

¹ Dra. Gabriela Suárez Franco es docente de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Veracruzana, Veracruz, México. gsuarez@uv.mx (autor correspondiente)

² Dra. Ángela Susana Vázquez Pérez es docente de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Veracruzana, Veracruz, México. angevazquez@uv.mx

³ Dr. José Luis Suárez Franco es docente de la Facultad de Odontología de la Universidad Veracruzana, Veracruz, México. jsuarez@uv.mx

médicos y hospitalarios, incremento de costos para la industria de alimentos (por señalar algunos factores) de las naciones que padecen dicho problema (Rodríguez Torrens *et al.*, 2015).

Las ETA son enfermedades originadas por la ingestión de alimentos y/o agua contaminados con microorganismos o sustancias tóxicas que afectan la salud del consumidor a nivel individual o en grupos de población. Son un indicador de la calidad sanitaria de los alimentos y afectan a todo individuo, es decir, desde la infancia hasta la vejez, siendo poblaciones con bajos niveles de salubridad y alta pobreza susceptibles a padecer desde diarreas hasta incluso la muerte por arriba de los tres millones anualmente (Hanson *et al.*, 2012). Se estima que son más de 200 patógenos responsables de infecciones transmitidas por los alimentos (Gadiel, 2010; McLinden, 2013; McLinden *et al.*, 2014) y aunque en México existen proyectos que involucran acciones de control sanitario, es evidente la importante intervención y responsabilidad del médico veterinario en la prevención de enfermedades transmitidas por animales (zoonosis) pues ya fue señalado por FAO/OMS/OIE en la Conferencia Electrónica en Salud Pública Veterinaria y Control de Zoonosis en países en desarrollo, en donde de forma clara se determinó que los programas de salud pública deben estar dirigidos directamente al individuo, grupos pequeños y/o comunidades con el propósito de educar a la población en métodos y prácticas que puedan ser llevados a cabo a bajo costo y con el mínimo de equipamiento y materiales.

Si bien es cierto que la contaminación de alimentos puede prevenirse mediante el control adecuado de procesos (HACCP) a nivel industrial, también es cierto que éstos no son factibles de implementarse a nivel del pequeño productor, procesador y comercializador de alimentos a nivel local y regional. Es entonces en donde el rol del futuro médico veterinario zootecnista adquiere un papel primordial en la salud pública veterinaria, particularmente en materia de educación, divulgación y entrenamiento de pequeños grupos dedicados a la producción local de alimentos que tienen como punto de partida el manejo de animales de doble propósito.

Desarrollo de la experiencia

Con base en lo anterior, se estableció como objetivo del presente trabajo que el estudiante de la Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia cursando entre el quinto y séptimo semestre redactara de forma eficiente y efectiva un folleto de divulgación científica atendiendo los saberes teóricos, heurísticos y axiológicos de dos experiencias educativas cursadas durante la formación académica profesional que son lectura y redacción así como aseguramiento de la calidad de productos pecuarios. El tema central fue la higiene básica de alimentos para la elaboración de productos como el queso y crema, que tienen como punto de partida la leche de bovino. Dicho tópico está considerado dentro del contenido programático de la experiencia educativa de Aseguramiento de la Calidad de Productos Pecuarios que contempla bases teóricas y prácticas para la inspección y aseguramiento de la calidad de productos pecuarios mediante la adquisición de habilidades para difundir el conocimiento sobre seguridad de alimentos, de tal forma que redactar un documento de divulgación es tarea fundamental en el campo académico y profesional del estudiante universitario. Se trabajó con un grupo de 24 estudiantes que trabajaron en binas para la redacción del folleto en cuestión.

Con base en lo anterior, y a modo de transversalizar dichos saberes con aquellos adquiridos en la experiencia educativa de Lectura y Redacción en donde se aborda la redacción de textos expositivos y argumentativos, se procedió al abordaje del tema de acuerdo a la siguiente estructura con base en el trabajo de Flower y Hayes (1981): el planteamiento o propósito del tema, características del receptor, emisor y mensaje (figura 1). Sin duda, trabajar con la guía del planteamiento retórico permite que el estudiante reflexione y cuestione la aplicación, alcance y utilidad de la seguridad de alimentos en pequeños productores pues de forma implícita marca pauta para determinar en primer lugar, el objetivo general y objetivos particulares así como los temas a considerar que en este caso fueron la higiene alimentaria, fuentes de contaminación de alimentos y medidas de higiene en la elaboración de quesos.

Con el propósito de estructurar la elaboración del folleto, el facilitador del curso utilizó la técnica de diálogo-discusión para utilizar ejemplos relacionados con los temas y las situaciones cotidianas promoviendo comentarios sobre la utilidad y aplicación de los temas en la vida profesional y personal. De igual forma, se utilizó la técnica expositiva para abordar el tema de las consecuencias de la ausencia de higiene alimentaria así como las fuentes de contaminación de los alimentos. Una vez definidos los temas a desarrollar y de forma paralela, la naturaleza y propósito de la información, se consideró la modalidad del texto teniendo como antecedente las cuatro prosas de base (descripción, narración, argumentación y exposición) (Serafini, 2004). De acuerdo a las características de cada forma básica de expresión se concluyó que la exposición sería la modalidad a desarrollar por el tipo de características que contiene, es decir, la presentación de ideas de modo ordenado y objetivo para desarrollar el contenido de un tema que informa, explica, difunde e interpreta de forma objetiva ideas. A su vez, y dentro de las modalidades de exposición se eligió la divulgación como medio para informar a una audiencia extensa con un tema de interés con la utilización de un lenguaje sencillo sin descuidar el orden y claridad en el desarrollo de las ideas y contenidos. De tal forma que el/los tema(s) a desarrollar se presenta(n), compara(n), clasifica(n), define(n), relaciona(n), ejemplifica(n) y concluye(n). Para lograr los elementos anteriores, se utilizaron recursos que definieran un estilo propio para despertar

interés en el lector, que en este caso es un lenguaje sencillo y campirano acompañado de recursos estilísticos como el uso de imágenes, comparaciones y ejemplificaciones que permitan la transmisión de conocimientos, experiencias y saberes sobre los temas de elección. Para complementar, se utilizaron técnicas discursivas para facilitar la interpretación de las ideas expuestas y la información dada como: la ordenación secuenciada y jerarquizada, reformulación, ejemplificación, referencias y citas. Así, el presente trabajo consideró al texto en dos niveles. El primero, que considera el planteamiento de los objetivos (general y específicos) y el segundo, que aborda los elementos de coherencia, cohesión y adecuación (Figura 2) para dar como resultado el texto de divulgación. La “confección” del texto permite que el estudiante haga el planteamiento propuesto por Williams (1998) sobre el propósito retórico y el objetivo del texto en el primer nivel.

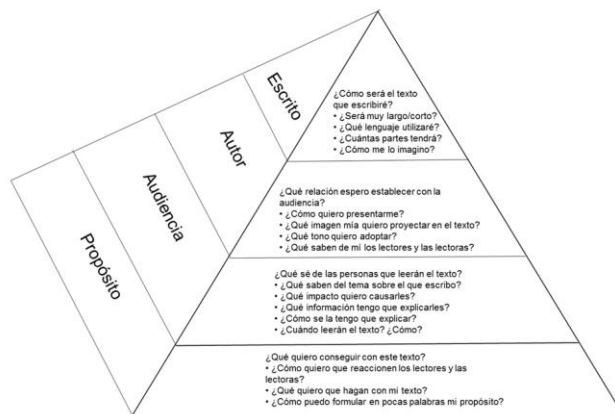


Figura 1. Esquema de pirámide para el planteamiento retórico adaptado de Flower y Hayes (1981).

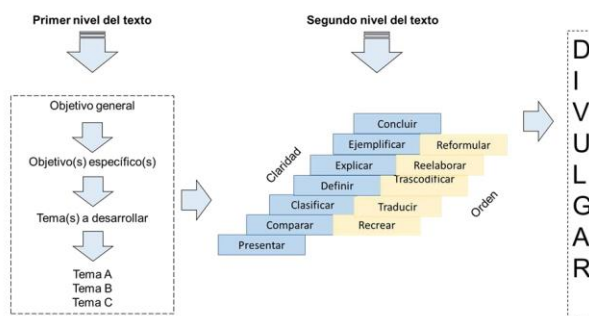


Figura 2. Niveles en la redacción del texto de divulgación (folleto).

De tal suerte que el estudiante autocuestiona sobre la perspectiva que como autor tiene sobre el tema(s) y por otro lado, autocuestiona la del lector así como el efecto que se espera en él. Dichos cuestionamientos conllevan la conclusión de planificar el acto mismo de la escritura, es decir, tomar como punto de partida la guía de Flower y Hayes (1981). Tal planteamiento supone entonces considerar la situación retórica, tal y como lo señala Benítez (2000) al considerar tres ejes fundamentales: el tema a desarrollar, la audiencia a quien se dirige el texto y la intención. Para el caso particular de estudiantes del programa educativo en cuestión, dicho planteamiento tiene particular impacto en la elaboración del folleto pues en un inicio de la actividad algunos estudiantes tuvieron la impresión de que la tarea asignada implicaba la preparación de un documento dirigido hacia un público conocedor de aspectos básicos en cuestión de higiene de alimentos y contaminantes presentes, de tal forma que tener claro el propósito y audiencia marcó la base de la redacción; concientizar sobre los efectos de prácticas inadecuadas de higiene a personas de nivel básico de alfabetización efectivamente implica un reto en la forma de escribir. Sugiere por tanto dejar en claro desde la etapa de pre-escritura o borrador un objetivo y propósito perfectamente definidos para así saber el tipo de lenguaje

a utilizar y qué tanto profundizar en materia del contenido a tratar, ya que, de igual manera, conlleva establecer la extensión del documento; en este caso el folleto.

Atendiendo a lo anterior, el folleto fue dividido en tres partes: introducción, desarrollo y conclusión. En la introducción se describió el objetivo y propósito del tema; el desarrollo abordó los temas a tratar con imágenes para fácil comprensión, en un lenguaje sencillo, accesible y campirano; la conclusión, en la cual se mostraron las ventajas de las buenas prácticas de higiene alimentaria en la elaboración de quesos artesanales.

Una vez finalizado el folleto, fue sometido a revisión por parte de los facilitadores con experiencia en área de seguridad de alimentos y redacción. Posterior a la aprobación, se diseñó un curso-taller de higiene de alimentos para transmitir la información y llevar a la práctica las buenas prácticas de manufactura de un queso artesanal, al cual asistieron diez productores de una zona rural cercana a la ciudad de Veracruz. El folleto se proporcionó en físico con la intención de colocarlo en la web para consulta de cualquier persona interesada en conocer las buenas prácticas de manufactura para elaboración de queso artesanal.

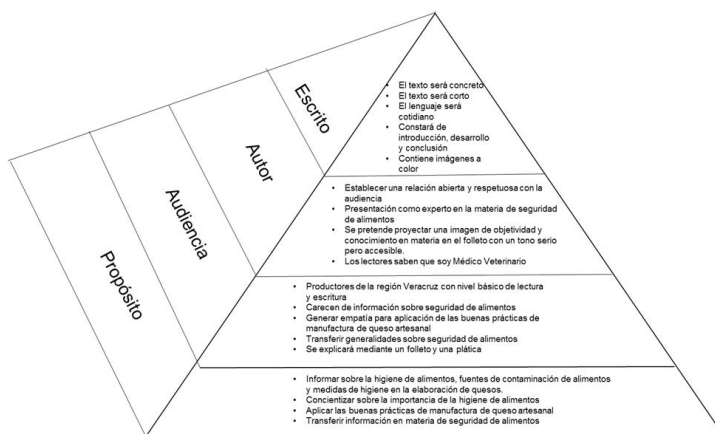


Figura 3. Planteamiento retórico para redacción del folleto sobre higiene de alimentos.

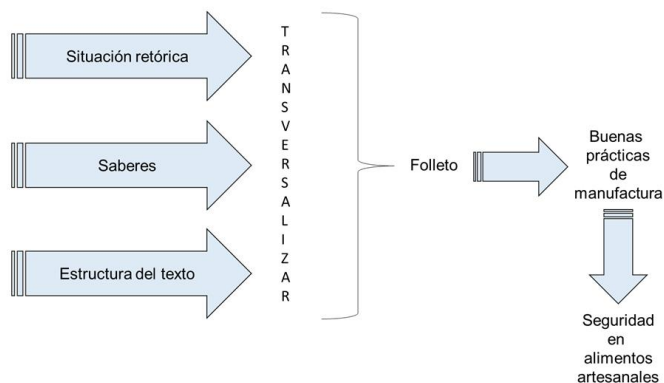


Figura 4. Desarrollo del folleto en tres niveles.

Comentarios Finales

Conclusiones

La redacción de un folleto de divulgación impone ciertos retos en estudiantes de nivel superior de semestres avanzados de la licenciatura en medicina veterinaria y zootecnia, ya que supone la habilidad para redactar textos de forma eficiente que transfieran de forma eficaz el conocimiento en materia de seguridad de alimentos, hecho que no siempre es de forma fluida, es decir, que durante el desarrollo del presente se tuvo que trabajar en aspectos de la redacción de un texto coherente, cohesionado y adecuado que dieron estructura al folleto resultante. De forma paralela, se insistió en propiciar el análisis del planteamiento retórico siendo una tarea ardua para estudiantes cuyo contexto es el manejo cotidiano de términos un tanto científicos y propios de la jerga a la cual pertenecen. Por lo anterior, se propone que este tipo de acercamientos entre estudiantes y pequeños productores de áreas rurales, sea una actividad frecuente estimulada por los profesores que imparten las diferentes experiencias educativas a lo largo de la formación académica, hecho que puede verse favorecido con viajes de prácticas a comunidades en donde se detecten las necesidades en cuanto a seguridad de alimentos refiere o bien, otras áreas de oportunidad del médico veterinario zootecnista. También es fundamental insistir de forma clara y precisa que el primer paso para la redacción de un folleto de esta naturaleza es tener presente el propósito por el cual se escribe pues ello emana de la necesidad detectada para así generar una solución que puede prevenir (como en este caso) problemas de salud pública en la población limitada de recursos. Es deseable que de forma conjunta este ejercicio sea aplicable a otros ámbitos del saber para plantear al estudiante de nivel superior el contexto profesional al cual se enfrentará una vez que egresa de la universidad con el fin de responder a las múltiples necesidades de una sociedad cambiante. Para finalizar, es posible aseverar que con el folleto resultante se transversalizaron los saberes considerados en las experiencias educativas involucradas (figura 4).

Recomendaciones

Resulta importante que los estudiantes desarrollen la habilidad de redactar otros documentos de divulgación en otras experiencias educativas que conforman. De igual forma, es deseable propiciar el análisis del planteamiento retórico mediante estrategias que favorezcan el análisis y establecimiento del propósito.

Referencias

- Benítez Figari, Ricardo. (2000). La situación retórica: Su importancia en el aprendizaje y en la enseñanza de la producción escrita. *Revista signos*, 33(48), 49-67. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-09342000004800005>
- Flowe, L. y Hayes, J. (1981) "A cognitive process theory of writing", *College Composition and Communication*, 32, 363-387.
- Gadiel D. 2010. The economic cost of foodborne disease in New Zealand. *Applied Economics*, 8-39
- Hanson LA., Zahn, EA, Wild, SR., Döpfer, D., Scott, J., Stein, C. (2012). Estimating global mortality from potentially foodborne diseases: an analysis using vital registration data. *Population Health Metrics*; 10:5 Disponible en: <http://www.pophealthmetrics.com/content/10/1/5>. [Consultado el 15 de marzo de 2015]
- McLinden T. 2013. A Scoping Review of Component Costs of Foodborne Illness and Analysis of the Association Between Study Methodologies and Component Costs to the Cost of a Foodborne Illness. A Thesis presented to The University of Guelph. In partial fulfillment of requirements for the degree of Master of Science in Population Medicine. Guelph, Ontario, Canada. August, 2013. Disponible en: https://dspace.lib.uoguelph.ca/.../McLinden_Taylor. [Consultado el 15 de marzo de 2015]
- McLinden T., Sargeant, JM., 12, Thomas; MK., Papadopoulos, A., Fazil, A. 2014. Component costs of foodborne illness: a scoping review. *BMC Public Health*; 14: 509 doi: 10.1186/1471-2458-14-509. Disponible en: www.biomedcentral.com/1471-2458/14/509. [Consultado el 15 de marzo de 2015]
- REDVET. *Revista Electrónica de Veterinaria [en línea]* 2015, 16 [Fecha de consulta: 25 de abril de 2019] Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63641401002>> ISSN
- Rodríguez Torrens, Herlinda, Barreto Argilagos, G., Sedrés Cabrera, Martha, Bertot Valdés, J., Martínez Sáez, S., Guevara Viera, G., Las enfermedades transmitidas por alimentos, un problema sanitario que hereda e incrementa el nuevo milenio.
- Serafini, María Teresa (2004). *Prosas de base*. En *Cómo redactar un tema*. Didáctica de la escritura. (pp. 194-197). México: Paidós.
- Williams, J. (1998) *Preparing to teach writing: Research, theory and practice*, Mahwah: Erlbaum Associates Publishers.
- Puebla Romero, T., C. Dominguini y T. T. Micrognelli. "Situaciones inesperadas por el uso de las ecuaciones libres en la industria cocotera," *Congreso Anual de Ingeniería Mecánica*, Instituto Tecnológico y Científico Gatuno, 17 de Abril de 2005.

Investigación de Operaciones como Herramienta en la Resolución de Casos de Uso

Dra. María del Consuelo Patricia Torres Falcón¹, Dra. Alondra Anahí Ortiz Verdín¹, M.I. Alejandro Flores Rangel¹, Dr. Omar Rodríguez Abreo¹, M.I. Ernesto Christian Orozco Magdaleno¹, Dr. Carlos Fuentes Silva¹, Dr. José Luis Martínez Godoy¹, Dr. José Trinidad López¹, Iker Osvaldo Pavón Barbosa² y Jesús Alfredo Ortiz López²

Resumen—El uso de la programación lineal es muy indispensable para encontrar los beneficios máximos, minimizar costes, o alguna otra operación dentro de procesos o situaciones de administración decisivas para que así tengamos de alguna manera un pronóstico de optimización. Tomando esto en cuenta se encontró un caso para la comprobación de este caso en el cual se requiere encontrar cuántas unidades de cada artículo debe fabricar diariamente un operario para maximizar los ingresos en una empresa de mini muebles.

Palabras clave—Programación Lineal, Restricciones, Maximización, Optimización.

Introducción

En el presente trabajo de investigación, en el caso de Programación lineal se toma como objeto de estudio una empresa especializada en la fabricación de mobiliario para casas de muñecas, produce cierto tipo de minimesas y mini sillas que vende a 2000 unidades monetarias (u.m) y 3000 u.m por cada artículo, respectivamente. El objeto de estudio es saber cuántas unidades de cada artículo debe fabricar diariamente un operario para maximizar los ingresos, teniéndose en cuenta un conjunto de restricciones a considerar.

El análisis se realizó considerando el método de programación, es un proceso de planificar de la mejor forma un conjunto de actividades para alcanzar un objetivo específico, evaluando para ello algunas alternativas factibles (UNED, Marcos Javier M. Navarro, 2003, pág. 65). Por tanto, el método de “programación lineal” nos ayuda conocer este tipo de beneficios y así tener mejores resultados gráficos y factibles para lograr alcanzar un pronóstico óptimo.

Descripción del Método

Programación Lineal: Metodología

- Paso 1: Declaración de variables. Se definen las variables para poder obtener el resultado de este método.
- Paso 2: Función Objetivo. Se debe determinar la cantidad que se va a optimizar y expresarla como una función matemática.
- Paso 3: Declaración de restricciones. Se declara las limitaciones estipuladas en el caso a estudio que se tendrán para poder obtener el resultado deseado.
- Paso 4: Método gráfico. Se obtiene un resultado gráfico donde muestran los resultados de los beneficios.

Comentarios Finales

¹ La Dra. María del Consuelo Patricia Torres Falcón es Profesora de Ingeniería en Tecnologías de Manufactura en la Universidad Politécnica de Querétaro, México, consuelo.torres@upq.mx, la Dra. Alondra Anahí Ortiz Verdín es Profesora de Ingeniería en Tecnologías de Manufactura en la Universidad Politécnica de Querétaro, México, alondra.ortiz@upq.edu.mx, el M.I. Alejandro Flores Rangel es Profesor de Ingeniería en Tecnologías de Manufactura en la Universidad Politécnica de Querétaro, México, alejandro.flores@upq.edu.mx, el Dr. Omar Rodríguez Abreo es Profesor de Ingeniería en Tecnologías de Manufactura en la Universidad Politécnica de Querétaro, México, omar.rodriguez@upq.edu.mx, el M.I. Ernesto Christian Orozco Magdaleno es Profesor de Ingeniería en Tecnologías de Manufactura en la Universidad Politécnica de Querétaro, México, ernesto.orozco@upq.edu.mx, el Dr. Carlos Fuentes Silva es Profesor de Ingeniería en Tecnologías de Manufactura en la Universidad Politécnica de Querétaro, México, carlos.fuentes@upq.mx, el Dr. José Luis Martínez Godoy es Profesor de Ingeniería en Tecnologías de Manufactura en la Universidad Politécnica de Querétaro, México, jose.martinez@upq.mx y el Dr. José Trinidad López es Profesor de Ingeniería en Tecnologías de Manufactura en la Universidad Politécnica de Querétaro, México, jose.lopez@upq.edu.mx

² Iker Osvaldo Pavón Barbosa es estudiante de Ingeniería en Tecnologías de Manufactura en la Universidad Politécnica de Querétaro, México, 120036845@upq.edu.mx y Jesús Alfredo Ortiz López Barbosa es estudiante de Ingeniería en Tecnologías de Manufactura en la Universidad Politécnica de Querétaro, México, 120037333@upq.edu.mx

Resumen de resultados

En este trabajo investigativo se estudió un caso de una empresa, especializada en la fabricación de mobiliario para casas de muñecas, produce cierto tipo de minimesas y minisillas que vende a 2000 unidades monetarias (u.m) y 3000 u.m por cada artículo, respectivamente (el estudio se realizó con el método de Programación Lineal). Desea saber cuántas unidades de cada artículo debe fabricar diariamente un operario para maximizar los ingresos, teniéndose las siguientes restricciones:

- El número total de unidades de los dos tipos no podrá exceder de 4 por día y operario.
- Cada minimesa requiere 2 horas para su fabricación; cada mini silla, 3 horas. La jornada laboral máxima es de 10 horas.
- El material utilizado en cada minimesa cuesta 400 u.m. El utilizado en cada mini silla cuesta 200 u.m. Cada operario dispone de 1200 u.m diarias para material.

Paso 1: Declaración de variables

$x_1 =$ Cantidad de minimesas que debe fabricar diariamente un operario

$x_2 =$ Cantidad de minisillas que debe fabricar diariamente un operario.

Paso 2: Función Objetivo

$$MaxZ = 2000x_1 + 3000x_2$$

$$\begin{array}{l} 2000u.m. \rightarrow 1 \text{ unidad de minimesa} \\ ? \leftarrow x_1 \text{ unidad de minimesa} \\ \frac{(2000u.m)(x_1 \text{ de minimesa})}{1 \text{ unidad de minimesa}} = 2000x_1(u.m) \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 3000u.m. \rightarrow 1 \text{ unidad de minisillas} \\ ? \leftarrow x_1 \text{ unidad de minisillas} \\ \frac{(3000u.m)(x_2 \text{ de minisillas})}{1 \text{ unidad de minisillas}} = 3000x_2(u.m) \end{array}$$

Paso 3: Declaración de las restricciones

$$1. \quad x_1 + x_2 \leq 4$$

Interpretación: Por cada unidad de minimesa y minisillas producidas por operario no debe excederse de 4 unidades al día.

Entonces sí:

Un operario por lo menos hace 1 unidad de minimesa al día ¿Cuántos operarios producirán x_1 unidades de minimesas?

$$\begin{array}{l} 1 \text{ operario} \rightarrow 1 \text{ unidad de minimesa} \\ ? \leftarrow x_1 \text{ unidad(es) de minimesa(s)} \\ \frac{(1 \text{ operario})(x_1 \text{ unidad de minimesa})}{1 \text{ unidad de minimesa}} = x_1 (\text{operario}) \end{array}$$

Un operario por lo menos hace 1 unidad de minisilla al día ¿Cuántos operarios producirán x_2 unidades de minisillas?

$$\begin{array}{l} 1 \text{ operario} \rightarrow 1 \text{ unidad de minisilla} \\ ? \leftarrow x_2 \text{ unidad(es) de minisilla(s)} \\ \frac{(1 \text{ operario})(x_2 \text{ unidad de minisilla})}{1 \text{ unidad de minisilla}} = x_2 (\text{operario}) \end{array}$$

$$2. \quad 2x_1 + 3x_2 \leq 10$$

Interpretación: Cada unidad de minimesa requiere de 2 horas para su fabricación y 3 horas para la fabricación de minisillas producidas sin exceder la hora laboral máxima de 10 horas.

Entonces sí:

2 horas se necesitan para la fabricación de 1 unidad de minimesas ¿Cuántas horas se necesitan para la fabricación de x_1 unidad de minimesa?

$$\begin{array}{l} 2 \text{ horas} \longrightarrow 1 \text{ unidad de minimesa} \\ ? \longleftarrow x_1 \text{ unidad(es) de minimesa(s)} \\ \frac{(2 \text{ horas})(x_1 \text{ unidad de minimesa})}{1 \text{ unidad de minimesa}} = 2x_1 \text{ (horas)} \end{array}$$

3 horas se necesitan para la fabricación de 1 unidad de minisillas ¿Cuántas horas se necesitan para la fabricación de x_2 unidad de minisillas?

$$\begin{array}{l} 3 \text{ horas} \longrightarrow 1 \text{ unidad de minisillas} \\ ? \longleftarrow x_2 \text{ unidad(es) de minisilla(s)} \\ \frac{(3 \text{ horas})(x_2 \text{ unidad de minisilla})}{1 \text{ unidad de minisilla}} = 3x_2 \text{ (horas)} \end{array}$$

$$3. \quad 400x_1 + 200x_2 \leq 1200$$

Interpretación: 400 u.m. cuesta el material utilizado en cada minimesa cuesta y 200 u.m el utilizado por cada minisilla, sin embargo cada operario dispone de 1200u.m. al día, es decir la suma no se deben exceder del presupuesto que cuenta cada uno por día.

Entonces sí:

400 u.m. se necesitan para la fabricación de 1 unidad de minimesas ¿Cuántas u.m. se necesitan para la fabricación de x_1 unidad de minimesa?

$$\begin{array}{l} 400 \text{ u. m.} \longrightarrow 1 \text{ unidad de minimesa} \\ ? \longleftarrow x_1 \text{ unidad(es) de minimesa(s)} \\ \frac{(400 \text{ u. m.})(x_1 \text{ unidad de minimesa})}{1 \text{ unidad de minimesa}} = 400x_1 \text{ (u. m.)} \end{array}$$

200 u.m. se necesitan para la fabricación de 1 unidad de minisillas ¿Cuántas u.m. se necesitan para la fabricación de x_2 unidad de minisillas?

$$\begin{array}{l} 200 \text{ u. m.} \longrightarrow 1 \text{ unidad de minisillas} \\ ? \longleftarrow x_2 \text{ unidad(es) de minisilla(s)} \\ \frac{(200 \text{ u. m.})(x_2 \text{ unidad de minisilla})}{1 \text{ unidad de minisilla}} = 200x_2 \text{ (u. m.)} \end{array}$$

Paso 4: Método Gráfico

$$1.- \quad x_1 + x_2 \leq 4$$

$$x_2 = 4 - \frac{x_1}{1}$$

$$(0, 0)$$

$$(0) + (0) \leq 4$$

$$0 \leq 4$$

∴ Si cumple

$$2.- \quad 2x_1 + 3x_2 \leq 10$$

$$3x_2 = 10 - 2x_1$$

$$x_2 = \frac{10}{3} - \frac{2x_1}{3}$$

$$x_2 = 3.33 - \frac{0.66x_1}{1}$$

$$(0, 0)$$

$$2(0) + 3(0) \leq 10$$

$$0 \leq 10$$

∴ Si cumple

$$3.- 400x_1 + 200x_2 \leq 1200$$

$$200x_2 = 1200 - 400x_1$$

$$x_2 = \frac{1200}{200} - \frac{400x_1}{200}$$

$$x_2 = 6 - \frac{2x_1}{1}$$

$$(0, 0)$$

$$400(0) + 200(0) \leq 1200$$

$$0 \leq 1200$$

∴ Si cumple

Interpretación: Para poder graficar cada restricción es necesario sacar la pendiente, así como ver si cumple la parte (0,0) y así ver la dirección del área.



Figura 1. Gráfica obtenida en Geogebra de propia autoría.

Interpretación: De acuerdo con los resultados obtenidos y como se puede observar en la Figura 1 las 3 restricciones quedan graficadas de esta manera, observando el área de cada una y la que comparten.

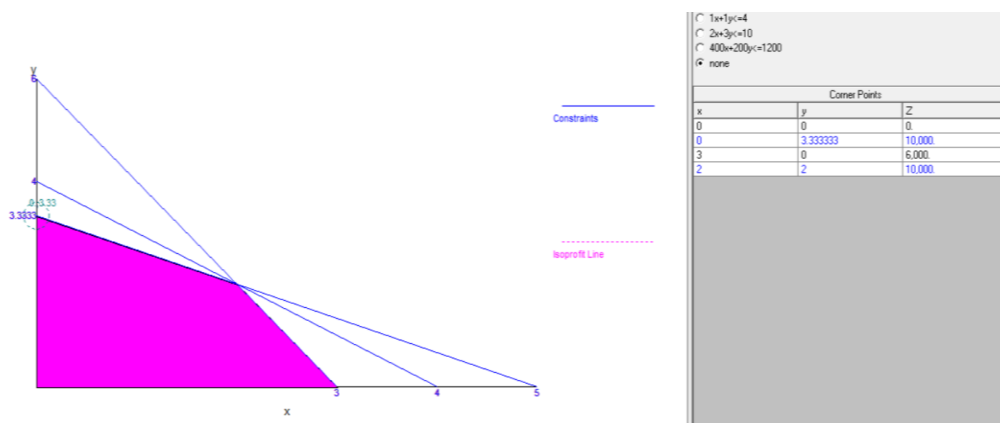


Figura 2. Gráfica obtenida en POM de propia autoría.

Interpretación: De acuerdo con los resultados obtenidos y como se puede observar en la Figura 2 cuando se tenga 2 unidades fabricadas de minimesas y 2 unidades de minisillas fabricadas al día, se tendrá un ingreso máximo de 10,000 u.m.

Solución en Solver de Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2				Problema 1						
3										
4				PRODUCTO	Minimesas	Minisillas	GANANCIA			
5				CANTIDAD DE PRODUCCIÓN	0	3.333333333				
6				MARGEN DE CONTRIBUCIÓN UNITAF	2000	3000	10000			
7				RESTRICCIONES		USO DE RECURSO	TOTAL LI		LD	
8				1 Unidades	1	1	3.33333333	<=	4	
9				2 Fabricación	2	3	10	<=	10	
10				3 Material	400	200	666.666667	<=	1200	
11										
12										
13										

Figura 3. Solución en Solver de Excel con el método de programación Lineal de autoría propia.

Interpretación: De acuerdo con los resultados obtenidos con el Solver y como se puede observar en la figura 3, cada una de las restricciones cumplen con la inequación así como nos arroja el mismo resultado de la gráfica obtenida en el POM (figura 2), que nos da una cantidad de 0 minimesas y 3.333 minisillas con un ingreso máximo de 10,000 u.m.

Conclusiones

Los resultados demuestran la necesidad de concluir con lo que se planteó desde el inicio de este trabajo ya que, se pudo resolver el caso de uso de aplicación de Programación Lineal, ya que se pudo obtener el ingreso máximo que se tendrá al fabricar una cierta cantidad de minimesas y minisillas cumpliendo las restricciones planteadas. Es indispensable mencionar que gracias a la metodología que se utilizó fue posible llegar a los resultados óptimos que son requeridos por la empresa para que de esta manera tengan una mejor productividad sin que haya pérdidas y garantizando el beneficio máximo diariamente, en este caso se pudo llegar a que produciendo 2 minisillas y 2 minimesas por operador lo cual nos generara el beneficio máximo. Fue quizás inesperado el haber encontrado que este método es muy fácil de aplicarse, así como, sus diferentes aplicaciones en otros casos comunes ya que nos permite llegar a resultados que son sumamente convenientes. Por último, cabe mencionar que los objetivos planteados en este documento se cumplieron al obtener los resultados requeridos.

Recomendaciones

Referencias

Moya Navarro, Marcos. Programación Lineal Investigación de Operaciones 1. San Jose, Costa Rica, EUNED, 2003, p. 264.

Notas Biográficas

María Del Consuelo Patricia Torres Falcón, cuenta con un Doctorado en Tecnología Avanzada en el Instituto Politécnico Nacional, Maestría en Ingeniería del Transporte en el Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. Actualmente es Profesora e Investigadora en la Universidad Politécnica de Querétaro. Cuenta con perfil deseable y es miembro del cuerpo académico de sistemas productivos en PRODEP. Áreas de investigación son: estadística, Modelos matemáticos, manufactura de polvos magnéticos. Omar Rodríguez Abreo estudio la maestría en Mecatrónica en la universidad de Málaga, así como su doctorado. Actualmente es investigador de tiempo completo en la Universidad Politécnica de Querétaro. Trabaja como investigador en control, robótica móvil, lógica difusa y algoritmos metaheurísticos. José Luis Martínez Godoy, es Doctor en Manufactura avanzada por el Centro de Tecnología Avanzada CIATEQ. Maestro en Sistemas de Manufactura por el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey. Ingeniero en Procesos de Manufactura Avanzada por la Universidad Politécnica de Querétaro. Licenciado en Tecnologías de la Información y de la Comunicación por la Universidad de Toulouse, Francia. Cuenta con Perfil Deseable ante PRODEP. Es Líder del Cuerpo Académico de Innovación de Sistemas Productivos. Sus áreas de interés son la Automatización, los Sistemas Embebidos aplicados a Procesos de Manufactura y la Industria 4.0.

Alejandro Flores Rangel recibió la maestría en ingeniería de calidad de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), México. Actualmente es el jefe del Departamento del Programa Educativo de Ingeniería en Tecnología de Manufactura, Universidad Politécnica de Querétaro (UPQ), México. También está trabajando en la implementación de un sistema de mejora continua para aumentar la productividad en la industria mediante herramientas de calidad. José Trinidad López Maldonado se formó como Ingeniero Químico en el Instituto Tecnológico de Tijuana y estudió una maestría y doctorado en electroquímica por el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica. Actualmente es profesor en la Universidad Politécnica de Querétaro y desarrolla actividades de investigación en ingeniería electroquímica, energía, salud y medio ambiente. Ernesto Christian Orozco Magdaleno recibió su grado de licenciatura en Ingeniería Electromecánica por el TecNM – Instituto Tecnológico de Lázaro Cárdenas en 2016, y el grado de Maestro en Tecnología Avanzada por el Instituto Politécnico Nacional en el CICATA-IPN-QRO (Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada Unidad Querétaro), en 2018. En 2016 realizó una estancia de investigación en el LaRM (Laboratorio de Robótica y Mecatrónica) de la Universidad de Cassino, en Cassino, Italia, para el desarrollo de algoritmos de locomoción híbrida. En 2018 recibió una beca por parte de la IFToMM Italy (Federación Internacional para la Promoción de la Ciencia de Mecanismos y Máquinas – Sede Italia) para realizar una estancia de investigación en la Universidad de Cassino, así como colaborar con el laboratorio de biomédica de NEUROMED en Pozzilli, Italia. Desde el 2018 es estudiante de doctorado de tiempo completo en Tecnología Avanzada en CICATA-QRO. Desde 2022 es profesor de proyectos en la Universidad Politécnica de Querétaro (UPQ).