



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA



MEMORIAS



III **Ciclo de Seminarios de
Posgrado e Investigación**
y

II **Jornada de Investigación
de Estudiantes de Nivel Superior**

1, 2 y 3 de junio de 2020





DIRECTORIO

M.E.C. Rogelio Garza Rivera
Rector

Ph.D. Alejandro Sergio del Bosque González
Director

Ph.D. Juan Antonio Vidales Contreras
Subdirector de Posgrado e Investigación

Coordinadores de Seminarios

Dra. Ma. Del Carmen Ojeda Zacarías
Ph.D. Alejandro Isabel Luna Maldonado
D.Ph. Gerardo Méndez Zamora

Evaluadores Invitados

Ph.D. Kamaraj Sathish-Kumar
Dr. Juan Florencio Gómez Leyva
Dr. Cristobal Chaidez Quiroz



PRESENTACIÓN

La Subdirección de Posgrado e Investigación de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (FAUANL), organiza el LII Ciclo de Seminarios de Posgrado e Investigación y la II Jornada de Investigación de Estudiantes de Nivel Superior. En este Ciclo de Seminarios, los estudiantes de los programas educativos de Maestría en Ciencias en Producción Agrícola, Doctorado en Ciencias Agrícolas y estudiantes de los programas educativos de Nivel Superior presentan sus avances de investigación y proyectos de tesis ante investigadores externos invitados y la comunidad estudiantil y docente de la FAUANL. Durante las ponencias de los estudiantes, ellos reciben opiniones y sugerencias de los evaluadores externos, internos y los asistentes sobre el desarrollo de sus tesis, permitiéndoles enriquecer sus trabajos de investigación, impactando positivamente en su calidad y en el avance de la elaboración de sus manuscritos de tesis.

Estos eventos académicos han sido por largo tiempo un beneficio particularmente importante que ha apoyado a los estudiantes a cumplir con el tiempo establecido para su titulación y la difusión de sus resultados en revistas científicas de circulación nacional e internacional, mejorando así la eficiencia terminal exigida por el PNPC. Además, han representado la oportunidad de dar seguimiento al desarrollo del programa de estudios de nuestros estudiantes y han sido una de las fortalezas de ambos programas de posgrado para mantener su calidad, permitiendo alcanzar y conservar su reconocimiento en el Padrón Nacional de Posgrado de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), representando un orgullo para la Facultad de Agronomía y la propia Universidad.

El presente Ciclo de Seminarios ha representado una gran oportunidad para demostrar el compromiso de estudiantes y asesores en cumplir puntualmente con sus manuscritos de avances de tesis y sus presentaciones bajo la contingencia sanitaria que aqueja a prácticamente todos los países del mundo, que ha cobrado la vida de muchas personas y que nos recuerda el respeto que el hombre debe tener por la diversidad y la conservación del medio ambiente para las siguientes generaciones.



En este LII Ciclo de Seminarios de Posgrado e Investigación y la II Jornada de Investigación de Estudiantes de Nivel Superior, programado para el 1, 2 y 3 de junio del presente año, se expondrán 31 trabajos de avances de investigación de posgrado y un trabajo de investigación de nivel superior, además de tres conferencias magistrales de nuestros investigadores invitados.

Agradezco a los Coordinadores del Seminario y al personal de la Subdirección de Posgrado e Investigación, por la organización del evento bajo condiciones sumamente atípicas, pero con una gran responsabilidad para que estos más de 25 años de celebración de los seminarios de posgrado se mantengan ininterrumpidos. Debemos celebrar también esta gran herramienta, Microsoft Teams, que la UANL ha puesto a disposición de maestros y alumnos para continuar su trabajo académico y también llevar a cabo este LII Ciclo de Seminarios de Posgrado.

Atentamente

“Scientia Agricolis Vita”

Ph.D. Juan Antonio Vidales Contreras

Subdirector de Posgrado e Investigación

Dr. José Elías Treviño Ramírez

Secretario de Posgrado e Investigación

Dra. María del Carmen Ojeda Zacarías

Coordinadora de Seminarios

Ph.D. Alejandro I. Luna Maldonado

Coordinador de Seminarios

D.Ph. Gerardo Méndez Zamora

Coordinador de Seminarios



CONTENIDO

PONENCIAS MAGISTRALES	1
Sustainable Bio-batteries: Present and Future Perspective	1
Dr. Kamaraj Sathish-Kumar	1
Aspectos biotecnológicos y funcionales de los agaves en México	2
Dr. Juan Florencio Gómez Leyva.....	2
Herramientas básicas para el control de COVID-19 y su impacto en el sector de alimentos.....	3
Dr. Cristobal Chaidez Quiroz.....	3
MAESTRÍA	4
SEMESTRE I	4
Desarrollo de embriogénesis somática y organogénesis en papa (<i>Solanum tuberosum</i> L.) por meristemas apicales.....	4
Arile Ariste , Ma. Del Carmen Ojeda Zacarías ¹ , Héctor Lozoya Saldaña ² Emilio Olivares Sáenz ¹ , Eduardo A. García Zambrano ¹ , Alejandro Ibarra López ¹	4
Comportamiento agronómico y bioquímico de solanáceas (tomate y chile) por enfermedades virales	12
Juan Adalberto Padilla-Garza , Guillermo Niño-Medina, Omar Guadalupe Alvarado-Gómez, Emilio Olivares Sáenz.....	12
Efecto de tres elicitores sobre cultivo de papa (<i>Solanum tuberosum</i> L.) en condiciones in vitro y controladas	20
Mario James Forest ^{1,2} , Ma. Del Carmen Ojeda Zacarías ¹ , ² , Héctor Lozoya Saldaña ³ , Rigoberto E. Vázquez Alvarado ¹ , Emilio Olivares Sáenz ¹ , Alejandro Ibarra López ¹	20
Valorización avanzada de candelilla y otras plantas del semi-desierto mexicano.....	27
Nestor Everardo Aranda-Ledesma ; Romeo Rojas; Víctor E. Aguirre-Arzola; Nancy del Pilar Medina-Herrera y Guillermo Cristian Guadalupe Martínez-Ávila	27
Exploración de razas de maíz (<i>Zea mays</i>) en búsqueda de diferentes citoplasmas para el uso en mejoramiento genético y programas de formación de híbridos.....	36
Reynaldo Alfredo Domínguez-Gándara ¹ , Francisco Zavala-García ¹ , Sughey Ramona Sinagawa-García ¹ , Adriana Gutiérrez-Diez ¹ , Juan Manuel Hernandez-Casillas ²	36
SEMESTRE II	44
Búsqueda de organismos benéficos para control biológico de <i>Diaphorina citri</i> en Nuevo León, México	44
Daniel Moreno-Arredondo ¹ , Adriana Gutiérrez-Diez ¹ ; Reyna Ivonne Torres-Acosta ² ; Salvador Ochoa-Ascencios ³ ; Francisco Zavala-García ¹	44
Actividad antagónica de <i>Macrolepiota</i> sp. sobre hongos de frutos de <i>Ficus carica</i> L. 52	
Jesús Salvador Hernández-Ochoa , Guadalupe Gutiérrez-Soto, Guillermo Niño-Medina y Adriana Gutiérrez-Diez.....	52
Evaluación fenotípica y bioquímica del maíz bajo la aplicación de nanopartículas. I Fase de campo	61
Juan Angel Espinoza-Alonso ¹ ; Francisco Zavala-García ¹ ; Guillermo Niño-Medina ¹ ; Sughey Ramona Sinagawa-García ¹ ; Josué García-López ² ; Marisol Galicia Juarez ³ .61	
Fertilización orgánica e inorgánica en la producción de tres variedades de trigo harinero y su relación con la calidad del grano.....	70



Octavio Espinoza-Inzunza ¹ , José Elías Treviño-Ramírez ¹ , Rigoberto E. Vázquez-Alvarado ¹ , Juan Antonio Vidales-Contreras ¹ , Guillermo Niño-Medina ¹ , Jesús Andrés Pedroza-Flores ¹	70
Potencial alelopático de extractos vegetales de dos especies, para el control de malezas en maíz	79
Odlanier Pantoja-Arrechea ¹ , José Elías Treviño-Ramírez ¹ , Guillermo Cristian Martínez-Ávila ¹ , Francisco Zavala-García ¹ , Emilio Olivares-Sáenz ¹ y Jesús Andrés Pedroza-Flores ¹	79
Biotipos de mosca blanca (<i>Bemisia tabaci</i> Genn.) y sus begomovirus asociados al cultivo de tomate en Gral. Escobedo, Nuevo León.....	87
Oscar U. García-Vázquez ¹ , Omar G. Alvarado-Gómez ¹ , José Francisco Díaz-Nájera ² , Sergio Ayvar-Serna ² y Ma. Carmen Ojeda-Zacarías ¹	87
SEMESTRE III.....	94
Efecto del silicio y vermicompost en el crecimiento y producción de biomasa de <i>Moringa oleifera</i> Lam.....	94
Carina Lizeth Espinoza-Orozco ¹ ; Emilio Olivares-Sáenz ² ; Fernando de Jesús Carballo-Méndez ² ; Guillermo Niño-Medina ²	94
Cuantificación de indicadores biológicos y de la producción de biomasa en un sistema de laguna de oxidación para tratamiento de aguas residual municipal.....	104
Dulce Yesenia Marquez-Uribe , Juan Nápoles Armenta, Alejandro Isabel Luna Maldonado, Julia Mariana Marquez Reyes, Juan Antonio Vidales-Contreras.	104
Relación entre calidad e intensidad de luz en la producción de biomasa y capacidad antioxidante en <i>Rosmarinus officinalis</i> L.	112
Luis Enrique Ordóñez-López ^{1*} ; Humberto Rodríguez-Fuentes ¹ ; Romeo Rojas ² ; Alejandro Luna-Maldonado ¹ y Julia Mariana Márquez-Reyes ¹	112
Inoculación con <i>Rhizobium phaseoli</i> en tres genotipos de <i>Phaseolus vulgaris</i> L. bajo dos densidades poblacionales.....	122
Shener Cean ¹ , José Elías Treviño-Ramírez ¹ , Francisco Zavala-García ¹ , Juanita Guadalupe Gutiérrez-Soto ¹ , Guillermo Niño-Medina ¹ , Jesús Andrés Pedroza-Flores ¹ , Omar Guadalupe Alvarado-Gomez ¹	122
SEMESTRE IV	133
Evaluación fenotípica, fisiológica y de compuestos bioactivos en maíces nativos ante estrés por temperatura y sequía	133
Cesar de Jesús Ayala-Meza ¹ ; Francisco Zavala-García ¹ ; Adriana Gutierrez-Diez ¹ ; Guillermo Niño-Medina ¹ , Sugey Ramona Sinagawa-García ¹	133
Micropropagación de brotes de <i>Agave montium-sancticaroli</i> a partir de yemas apicales	142
Cristian Reyna-Morales ¹ ; Ma. del Carmen, Ojeda-Zacarías ¹ ; Héctor, Lozoya-Saldaña ² ; Emilio, Olivares-Sáenz ¹ ; José Argelio Santos Haliscak ¹	142
Efecto de la densidad de siembra y genotipo en variables agronómicas de trigo harinero en dos ambientes	152
Estefanía González-Muñoz ¹ ; José Elías Treviño-Ramírez ¹ ; Jesús Andrés Pedroza-Flores ¹ ; Juan Francisco Pissani-Zuñiga ¹ ; Juan Martínez-Medina ²	152
Incidencia de roya	155
Diversidad de escarabajos en huertas de aguacate en Sabinas Hidalgo Nuevo León, México.....	163



Ian Humberto Quiroz-González¹ ; Adriana Gutiérrez-Díez ¹ ; Armando Equihua-Martínez ² ; Alejandro Facundo Barrientos-Priego ³ ; Humberto Quiroz-Martínez ⁴ ; Francisco Zavala-García ¹	163
Efecto de la fertilización orgánica y química en la concentración nutrimental del tejido foliar de tomate saladette	172
Nadia Azeneth Rodríguez-Esquivel¹ ; Emilio Olivares-Sáenz ¹ ; Rigoberto E. Vázquez-Alvarado ¹ ; Roberto Carranza-de la Rosa ¹ ; Edgar V. Gutiérrez-Castorena ¹	172
Efecto de la intensidad y calidad de luz en la producción de microplantas de brócoli en un Sistema Plant Factory	178
Natiely Gallo-De la Paz^{1*} ; Humberto Rodríguez-Fuentes ¹ ; Romeo Rojas ¹ ; Alejandro Isabel Luna-Maldonado ¹ ; Cristian Martínez-Ávila ¹	178
Análisis morfométrico e hidrológico de cuatro subcuencas y sus microcuencas que influyen hidrológicamente en la Zona Metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México	186
Sergio Ramirez-Treviño¹ ; Juan Francisco Pissani-Zuñiga ¹ ; Edgar Vladimir Gutiérrez-Castorena ¹ ; Vladimir Garcia-Aguilar ²	186
DOCTORADO	196
SEMESTRE I	196
Evaluación de calidad de uva mediante adquisición, procesamiento de imágenes hiperespectrales y aprendizaje de máquina	196
Héctor Flores Breceda , Alejandro Isabel Luna Maldonado, Humberto Rodríguez Fuentes, María del Carmen Ojeda Zacarías y Beatriz Adriana Rodríguez Romero	196
Bioestimulantes de microalgas a partir de residuos líquidos con potencial uso en la agricultura	206
Katty Shcarlen Hernández-Gaytán¹ ; Celestino García-Gómez ¹ ; Juan Nápoles-Armenta ¹ ; Julia Mariana Márquez-Reyes ¹ ; Norma Alicia Ramos-Delgado ² ; Santiago Iván Suárez-Vázquez ³ ; Juan Antonio Vidales-Contreras ¹	206
Evaluación del crecimiento de plantas de <i>Stevia</i> (<i>Stevia rebaudiana</i>) fertilizadas con un novedoso sistema bio-electroquímico	216
Wilgince Apollon^{1*} ; Alejandro Isabel Luna-Maldonado ¹ ; Kamaraj Sathish-Kumar ² ; Juan Antonio Vidales-Contreras ¹ ; Humberto Rodríguez-Fuentes ¹ ; Juana Aranda-Ruíz ¹ ; Juan Florencio Gómez Leyva ³	216
SEMESTRE II	224
Descriptores morfológicos y colorimétricos para la caracterización de cladodios de <i>Opuntia ficus-indica</i> L.	224
Juan Arredondo-Valdez , Alejandro Isabel Luna-Maldonado, Ricardo Valdez-Cepeda, Humberto Rodríguez-Fuentes, Juan Antonio Vidales-Contreras, Juana Aranda-Ruiz	224
SEMESTRE III	232
Evaluación de elicitores sobre metabolitos de resistencia en dos variedades de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>) en condiciones de invernadero.	232
Alhagie K. Cham¹ , Ma. del Carmen Ojeda Zacarías ¹ , Héctor Lozoya Saldaña ² , Emilio Olivares Sáenz ¹ , Omar Guadalupe Alvarado Gómez ¹ , Rigoberto E. Vázquez Alvarado ¹	232
SEMESTRE V	242



Manejo de Plagas en el Cultivo de Cacahuete (<i>Arachis hypogaea</i> L.) en la Transición de Agricultura Convencional a un Sistema Agroecológico en San Luis Potosí	242
Daniel Osbaldo Ascencio-Contreras ¹ ; Omar Guadalupe Alvarado-Gómez ¹ ; Emilio Olivares-Sáenz ¹ , Ramón Jarquin-Gálvez ² ; José Pablo Lara-Ávila ² y Verónica Ávila-Rodríguez ³	242
Efecto de extractos vegetales sobre la mortalidad <i>raoiella indica</i> hirst (Acari: Tenuipalpidae)	249
Karen Zuleyma Ruiz-Jiménez ¹ ; Mariano Flores-Dávila ² ; Rodolfo Osorio-Osorio ³ J. Guadalupe Gutiérrez-Soto ¹ ; Luis Alberto Aguirre-Uribe ² Gerardo Méndez-Zamora ¹	249
SEMESTRE VI	258
Introducción de la nueva variedad de sorgo dulce [<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench] ROGER en la producción de bioetanol.....	258
Iosvany López-Sandin , Francisco Zavala-García, Juanita Guadalupe-Gutiérrez Soto, Adriana Gutiérrez-Diez, Edgar Vladimir Gutiérrez-Castorena, Nancy del Pilar Medina-Herrera.....	258
Propiedades nutraceuticas de la semilla de seis genotipos de Girasol (<i>Helianthus annuus</i> L.) en dos ciclos de cultivo en Marín, N.L.	268
Kirenia Raquel Rodríguez-Valle ¹ ; José Elías Treviño-Ramírez ¹ ; Francisco Zavala-García ¹ ; Emilio Olivares-Sáenz ¹ ; Rigoberto E. Vázquez-Alvarado ¹ ; Guillermo Niño-Medina ¹ ; Lidia Rosaura Salas-Cruz ¹ ; Gilberto Rodríguez-Pérez ²	268
POSTER	276
Evaluación de crecimiento y producción de biomasa de <i>pleurotus estratus</i> para biofloculación	276
Ángeles González Urbina , Nimbe Nayeli Carbajal Cruz, Víctor E. Aguirre Arzola, Celestino García Gómez	276



PONENCIAS MAGISTRALES

Sustainable Bio-batteries: Present and Future Perspective

Dr. Kamaraj Sathish-Kumar

*Laboratorio de medio ambiente sostenible, Instituto Tecnológico El Llano (ITEL)/
Tecnológico Nacional de México (TecNM), Aguascalientes. Km 18 carr, Aguascalientes-San
Luis Potosí, El Llano Ags., C.P. 20330, Mexico*

E-mail: sathish.k@llano.tecnm.mx, sathish.bot@gmail.com

Sustainable energy sources have been receiving considerable attention in recent year. One of the promising emerging fields is fuel cells and batteries (Galvanic cells). Among the various types and forms of energy mentioned above systems, the most attracted and sustainable energy system is microbial fuel cells (MFCs) or Bio-batteries, which utilise the sole organic materials to extract the electrical energy directly via biocatalyst (Microbes and photosystems). Bio-battery has also fascinated by many of the researcher's all around the world, as a way that not only generates electricity but to provide affordable treatment of contaminated environments (soil and water). While the low power density impedes the bio-battery technology, nonlinear output power increases with device scaling up, and great operation and maintenance costs in a large-scale operation, the realisation of a small, autonomous, and disposable battery-type MFC for low-power-consuming applications is a novel, yet reasonable approach. At this point, our intense research focuses on; to solve the important factors that obstacle the performance for the real-time applications. Our group developed a simplified and cost-effective prototypes for the wastewater and Plant-based bio-battery.





Aspectos biotecnológicos y funcionales de los agaves en México

Dr. Juan Florencio Gómez Leyva

TecNM-INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TLAJOMULCO

México es centro de origen y diversificación del género *Agave* con el 75% de las 210 especies conocidas. Se reportan 251 especies dentro de los dos subgéneros reconocidos (*Litsea* y *Agave*), de las cuales 119 son endémicas. El cultivo de agave tiene gran importancia económica debido a que sus piñas acumulan gran cantidad de carbohidratos en forma de fructanos o agavinas, de los que, después de un proceso de fermentación y destilación, se produce la bebida alcohólica distintiva de México conocida como mezcal y tequila. En la presente plática se abordará la importancia de este cultivo ancestral desde su taxonomía usos y potencial biotecnológicos. Se explicarán los avances realizados en aspectos de fitomejoramiento con el empleo de mutantes inducidas por radiación Gamma y la microporpagación mediante cultivo de tejidos vegetales, así como la taxonomía molecular empleando marcadores moleculares para finalmente incluir la importancia de los carbohidratos acumulados y su papel en la fisiología de la planta y las aplicaciones terapéuticas como prebiótico en un modelo murino para control de la obesidad.



Herramientas básicas para el control de COVID-19 y su impacto en el sector de alimentos

Dr. Cristobal Chaidez Quiroz

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo.



MAESTRÍA
SEMESTRE I

**Desarrollo de embriogénesis somática y organogénesis
en papa (*Solanum tuberosum* L.) por meristemos
apicales**

Arile Ariste, Ma. Del Carmen Ojeda Zacarías¹, Héctor Lozoya Saldaña² Emilio Olivares Sáenz¹,
Eduardo A. García Zambrano¹, Alejandro Ibarra López¹.

¹Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León. Calle Francisco Villa S/N,
Col. Ex Hacienda El Canadá, Gral. Escobedo, N.L. C.P. 66054. Méx. Tel. (81) 1340 4399.

²Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma de Chapingo, Carretera México-
Texcoco Km 38.5, 56230 Chapingo, CP 56230. México. Tel. (595) 9521500.

E- mail: arile.ariste@uanl.edu.mx

Resumen: El cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) es un cultivo importante en todo el mundo, actualmente es el cuarto cultivo más importante después del trigo, maíz y arroz, es una especie hortícola de importancia económica en México, es de gran valor alimenticio debido a su alto contenido de aminoácidos esenciales, vitaminas, minerales, hierro y carbohidratos. Por la importancia económica y nutricional que tiene el cultivo en la sociedad se utilizará la embriogénesis somática y la organogénesis, considerando que son técnicas que permiten desarrollar protocolos de investigación que aseguran la propagación de un gran número de especies de importancia agronómica y hortícola, entre las que se encuentra la papa. Estas técnicas garantizan la rápida propagación de variedades de alta estabilidad genética y calidad fitosanitaria, por lo que en esta investigación se plantea desarrollar un protocolo de micropropagación en ambas técnicas, considerando las condiciones particulares de las variedades en estudio.

Palabras clave: inducción, proliferación, maduración, fitohormona, micropropagación.

Abstract: The potato crop (*Solanum tuberosum* L.) is an important crop worldwide, currently it is the fourth most important crop after wheat, corn and rice, it is a horticultural species of economic importance in Mexico, it is of great nutritional value due to its high content of essential amino acids, vitamins, minerals, iron and carbohydrates. Due to the economic and nutritional importance of cultivation in society, somatic embryogenesis and organogenesis will be used, considering that they are techniques that allow the development of research protocols that ensure the propagation of a large number of species of agricultural and horticultural importance, among the that is the potato. These techniques guarantee the rapid propagation of varieties with high genetic stability and phytosanitary quality, which is why this research aims to develop a micropropagation protocol in both techniques, considering the particular conditions of the varieties under study.

Keywords: induction, proliferation, maturation, phytohormone, micropropagation.

Introducción

La papa cultivada (*Solanum tuberosum* L.) es una planta originaria de los Andes de

Suramérica. (Linares *et al.*, 2002). Su domesticación y cultivo se inició hace miles de años en la cuenca del Lago



Titicaca, área comprendida entre Perú y Bolivia sobre 3.800 m de altitud (Cortez, 2002). El sector mundial de la papa atraviesa grandes cambios. Hasta inicios del decenio de 1990, casi la totalidad de las papas se producían y consumían en Europa, América del Norte y en los países de la antigua Unión Soviética. Desde entonces se ha producido un espectacular aumento de la producción y la demanda de papa en Asia, África y América Latina, donde la producción aumentó de menos de 30 millones de toneladas a principios del decenio de 1960 a más de 165 millones en 2007 (Segretin, 2006). China se ha convertido en el primer productor mundial de papa, y poco menos de una tercera parte de todas las papas hoy se cosecha en China y la India (FAO, 2008). México ocupa el lugar 31º en la producción mundial de este importante tubérculo, se cultivan alrededor de 68,000 ha en nuestro país de donde se obtienen un total de 1.8 millones de toneladas con un valor de la producción de \$ 11,300 millones de pesos. (Hernández, 2019). Los principales estados productores son, Sinaloa, Veracruz, Puebla, Nuevo León y el Estado de México con una producción de 352,050, 293,045, 150,278, 143,624, 138,714 y 131,244 t, respectivamente. (CONPAPA, 2013). En el estado de Nuevo León los productos agrícolas destacados son la papa, pastos, naranja, nuez y tomate rojo. El cultivo de la papa se ha posicionado como producto líder con un valor de 1,208 MDP y con un porcentaje de 20.6% del valor total de la entidad durante el año 2018 (Alarcón, 2009). La papa, es uno de los cultivos más importantes tanto en países ricos y pobres, la planta alcanza una altura de un metro y produce tubérculos, la misma, con abundante contenido de almidón que ocupa el cuarto lugar mundial en importancia como alimento, después del maíz, el trigo y el arroz (Alarcón *et al.*, 2009). La papa pertenece a la familia de las solanáceas, del género *Solanum*,

formado por otras mil especies por lo menos, como el tomate y la berenjena. *S. tuberosum* se divide en dos subespecies apenas diferentes: la andígena, adaptada a condiciones de días breves, cultivada principalmente en los Andes, y *tuberosum*, la variedad que hoy se cultiva en todo el mundo y se piensa que desciende de una pequeña introducción en Europa de papa andígena, posteriormente adaptadas a días más prolongados (FAO, 2008). Las papas frescas se preparan al horno, hervidas o fritas, y se utilizan en una asombrosa variedad de recetas: en puré, tortitas, bolas de masa, croquetas, sopas, ensaladas o gratinadas, entre muchas otras modalidades de preparación (SIAP, 2018) Se ha calculado el apetito mundial por estas papas fritas a la francesa de fábrica en más de 11 millones de toneladas al año (FAO, 2008). A diferencia de otros de los principales cultivos, las papas se reproducen en forma vegetativa, como clones, lo que garantiza una propagación estable, “auténtica”. Sin embargo, los tubérculos que se toman de plantas enfermas transmiten al patógeno a las plantas que generan. La micropropagación o propagación *in vitro* ofrece una solución económica al problema de la presencia de patógenos en la semilla de papa. Las plántulas se pueden multiplicar en un número ilimitado de veces cortándolas en fracciones y sembrando estos cortes (Carlos, 2012). La respuesta morfogénica puede manifestarse siguiendo dos rutas alternativas: la organogénesis y la embriogénesis somática (Gisbert, 2010) En la organogénesis se produce la formación de tallos, raíces u otras estructuras y en la embriogénesis se forman embriones que al germinar dan lugar a una planta (Murashige y Skoog, 1962). En ambos casos, el proceso se genera a partir de células somáticas. Si la respuesta primaria al estímulo morfogénico es la formación de callo



antes de diferenciarse meristemas o embriones se habla de organogénesis o embriogénesis indirecta (Haro, 2019). Por los antecedentes aquí presentados se pretende comprobar la siguiente hipótesis, así como los objetivos siguientes.

Hipótesis

La organogénesis y embriogénesis somática presentan diferente potencial de regeneración *in vitro* de acuerdo a la especie, medio de cultivo y dosis del regulador de crecimiento.

Objetivo general

Desarrollar un protocolo de micropropagación en ambas técnicas, considerando las condiciones particulares de las variedades en estudio.

Objetivos específicos

1. Probar tratamientos de desinfección para cada técnica en estudio.
2. Manipular medios de cultivo y balances hormonales en cada una de las etapas de las técnicas.
3. Evaluar el establecimiento *in vitro* en ambas técnicas.
4. Determinar el proceso de multiplicación en condiciones *in vitro* en ambas técnicas.
5. Estimar porcentaje de oxidación, viabilidad, multiplicación celular en ambas técnicas.
6. Evaluar el número de brotes por explante por técnica.
7. Determinar el proceso de tuberización por técnica.

Materiales y Métodos

El estudio se realizará en el Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, localizado en el Campus de Ciencias Agropecuarias en la Col. Ex Hacienda el Canadá, Av.

Francisco Villa s/n, General Escobedo, N.L., durante el periodo de junio 2020 a octubre 2021.

Metodología para organogénesis

Predesinfección de la semilla

Las semillas de papa que se utilizarán en esta investigación fueron producidas en Guasave, Sinaloa. Se cosecharon en el ciclo agrícola del 2019 en mayo. Se utilizarán dos variedades Atlantis y Ágata; los tubérculos serán lavados y cepillados con jabón líquido, pasándolos por etanol al 70% v/v durante 5 minutos, posteriormente se pasarán a una solución antifúngica con Azoxistrobin a una dosis de 1.0 g L⁻¹ durante 30 minutos, después se pondrán en condiciones de incubación a 25 °C y en completa oscuridad durante seis semanas con la finalidad de inducir el suficiente número de brotes de tamaño uniforme para ser utilizado en el establecimiento aséptico.

Etapas de desinfección de los brotes germinados in vivo semilla

Los brotes obtenidos de los tubérculos serán lavados superficialmente y enjuagados con agua potable, posteriormente serán desinfectados bajo una campana de flujo laminar en condiciones asépticas. El material vegetal será colocado por 45 minutos en una solución de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) de 12.5 volúmenes. Con el propósito de eliminar el exceso de agente desinfectante, el material será sometido a tres enjuagues con agua bidestilada esterilizada. Continuando a sumergirlos en una solución de etanol al 70% v/v por un minuto seguido de dos enjuagues con agua estéril, posteriormente pasarán por hipoclorito de sodio comercial (NaOCl) al 6% de ingrediente activo (Cloralex®) al 10 y 20% v/v más 0.02% de polyoxyethylene sorbitan monolaurate (Tween-20), a 10 y 15 minutos, seguido de tres enjuagues con



agua estéril. Posteriormente los explantes serán sembrados en los medios de establecimiento y se incubarán bajo condiciones controladas de fotoperiodo y temperatura a 16 h luz ($54 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y 8 de oscuridad a $24 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ durante seis semanas, la variable a evaluar será: porcentaje (%) de asepsia.

Etapas de inducción de brotes

Con la finalidad de obtener la inducción de brotes se realizarán subcultivos consecutivos a medio de cultivo nuevo hasta lograr suficiente material vegetativo *in vitro* para ser utilizado en la etapa de multiplicación de brotes, en este medio permanecerán por 12 semanas después del establecimiento. La variable a evaluar será: % de oscurecimiento, % de viabilidad de explante y respuesta morfogénica.

Medios de cultivo de las etapas de establecimiento

Los explantes serán establecidos en dos medios de cultivo, B5 (Gamborg, 1968) y MS (Murashige y Skoog, 1962), más la adición de vitaminas (ácido nicotínico 0.5 mg L⁻¹, piridoxina 0.5 mg L⁻¹, tiamina 0.1 mg L⁻¹, glicina 2.0 mg L⁻¹, ácido ascórbico 10.0 mg L⁻¹, ácido cítrico 10.0 mg L⁻¹) y reguladores de crecimiento 0.5 y 1.0 mg L⁻¹ de 6-bencil-aminopurina (BAP). En estos casos de balances hormonales y vitaminas se optará por preparar soluciones concentradas como medida preventiva de proporcionar la dosis recomendada con mayor certeza. Se les proporcionará una dosis de 3% de sacarosa y agar gel 5.0 g L⁻¹ este último para solidificar los medios de cultivo y ajustando el pH a 5.7 ± 0.02 con NaOH y HCL al 1 N. Finalmente se fundirá en un horno de microondas durante 10 min. El medio se dosificará en cajas Petri con 10 mL por cada caja. El medio de cultivo será esterilizado en la autoclave a 121 °C a 15 libras de presión por 15 min. Ya esterilizados los medios serán

almacenados por una semana en condiciones de temperatura ambiente con la finalidad de corroborar la asepsia de estos.

Etapas de multiplicación de brotes

Los brotes que se elongarán *in vitro* serán seleccionados en condiciones de asepsia y se utilizarán los ápices y entrenudos como fuente de explantes; los cuales se colocarán en los mismos medios de cultivo de la etapa anterior; pero a concentraciones de 50, 80 y 100 % de sus sales básicas más la adición de 0.4 mg L⁻¹ de ácido giberélico y 20.0 mg L⁻¹ de ácido pantoténico. Concluido el subcultivo, los explantes serán colocados en las mismas condiciones de fotoperiodo y temperatura de la etapa anterior, y permanecerán por 8 semanas en estas condiciones donde las variables a evaluar serán: número de brotes y longitud de brotes.

Etapas de tuberización

Para la fase de inducción de tuberización se utilizarán los mismos medios de cultivo con la adición de 3 niveles de sacarosa al 70, 80 y 90%, concluida la siembra, pasarán a condiciones similares controladas de fotoperiodo y temperatura igual que las etapas anteriores, con el fin de permitir que los microtuberculos terminen de madurar en forma más uniforme. Antes de la cosecha, permanecerán en estas condiciones por 10 semanas. La variable a evaluar será: número de microtuberculos.

Diseño experimental en la organogénesis

El experimento se establecerá bajo un modelo estadístico completamente al azar con arreglo factorial con 5 repeticiones por tratamiento. La etapa de establecimiento e inducción de brotes se evaluarán simultáneas y el factorial quedaría expresado así: 2x2x2x2 con un total de 16 tratamientos y 80 unidades experimentales en total. Se evaluarán 2



variedades, 2 concentraciones del agente desinfectante, 2 medios de cultivo y 2 concentraciones hormonales. En la etapa de proliferación de brotes tendremos un arreglo factorial 2x2x3 teniendo un total de 12 tratamientos con 6 repeticiones, y 72 unidades experimentales en total, se evaluarán 2 variedades, 2 medios de cultivo y 3 concentraciones del medio. Finalmente, en la etapa de tuberización el arreglo factorial será de 2x2x3 con 6 repeticiones por tratamiento con 72 unidades experimentales en total. Donde se evaluarán 2 medios, 2 variedades y 3 concentraciones de sacarosa. Los datos de cada etapa de desarrollo serán analizados a través de un análisis de varianza y la prueba de comparación de medias Tukey utilizando el programa estadístico Statistical Package for the Social Sciences (SPSS).

Metodología para embriogénesis Somática

El proceso de Predesinfección de la semilla y la desinfección de los brotes germinados *in vivo*, se realizó simultáneamente con la técnica de organogénesis.

Establecimiento in vitro

Primeramente se realizara la desinfección de los explantes, los cuales pasarán por hipoclorito de sodio comercial (NaOCl) al 6% de ingrediente activo (Cloralex®) al 10 y 20% v/v más 0.02% de polyoxyethylene sorbitan monolaurate (Tween-20); posteriormente, los explantes se establecerán en los medios de cultivo que serán los medios de cultivo MS (Murashige y Skoog, 1962) y B5 (Gamborg, 1968) los cuales se adicionarán con vitaminas, 100 mg L⁻¹ de mioinositol y 30 g L⁻¹ de sacarosa; además, se suplementará con 100 mg L⁻¹ de ácido áscorbico, 100 mg L⁻¹ de ácido cítrico, 100 mg L⁻¹ de asparagina, 400 mg L⁻¹ de glutamina, 100 mg L⁻¹ de arginina y

100 mg L⁻¹ de caseína hidrolizada. El pH del medio de cultivo se ajustará a 5.7 ± 0.02 y se solidificará con 4.5 g L⁻¹ de Phytigel. Se dosificarán en cajas magenta y se esterilizará en autoclave a 1.2 kg cm⁻² de presión durante 15 min.

Inducción de callo embriogénico

Fueron utilizados brotes apicales como fuente de explante para iniciar el establecimiento *in vitro* de las dos variedades de papa, estos fueron sembrados en el cultivo MS adicionado con 2,4-D a 1, 2, 3 y 4 mg L⁻¹ con 1 mg L⁻¹ de kinetina, más sacarosa, pH y Phytigel™ similares a los medios preparados en la organogénesis. Los medios se colocarán en cajas Magenta™ y se esterilizarán en las mismas condiciones que todos los anteriores. Los explantes permanecerán en el cuarto de incubación por 8 semanas para esta primera etapa y la variable a evaluar será: % de tejido embriogénico. Con la finalidad de determinar la inducción de tejido embriogénico se procederán a practicar la técnica del acetocarmín, la cual consistirá en someter por 30 seg la muestra del tejido a una solución de acetocarmín al 2% (2 g de carmín + 40 mL de ácido acético aforado a 100 mL con agua destilada). Por último, la muestra se colocará en un portaobjetos y se observará al microscopio óptico, donde se clasificará el tejido embriogénico del no embriogénico.

Maduración de embriones somáticos

Para el desarrollo y maduración de los embriones somáticos en estado globular, estos serán transferidos a los medios de cultivo frescos, compuestos de las sales inorgánicas de MS y B5, con los suplementos descritos en la etapa de establecimiento y la adición de tres diferentes dosis de ABA (ácido ascórbico) (0, 1, 2 y 3 mg L⁻¹). El pH de los medios de cultivo se ajustará a 5.7 ± 0.02 y se solidificarán con 4.5 g L⁻¹ de Phytigel. Se



dosificarán en cajas magentas Se esterilizarán en autoclave a 1.2 kg cm⁻² de presión durante 15 min. después de cada cuatro semanas se realizará un subcultivo, completando un total de 12 semanas en las mismas condiciones de oscuridad en el cuarto de incubación, con el propósito de dar las condiciones de formación de embriones maduros. Las variables a evaluar serán: número de embriones maduros e inmaduros, número de embriones en sus diferentes etapas globular, corazón, torpedo y cotiledonar.

Germinación de embriones somáticos

Los embriones somáticos maduros que se obtengan de los explantes, se colocarán en el medio MS con sales inorgánicas al 50 y 100 %, adicionados con diferentes concentraciones de BAP (6-bencilaminopurina) (0, 0.5, 1 y 2 mg L⁻¹) y IBA al 0.3 mg L⁻¹, el pH de los medios de cultivo se ajustará a 5.7 ± 0.02 y se solidificarán con 4.5 g L⁻¹ de Phytigel. Se esterilizarán en autoclave a 1.2 kg cm⁻² de presión durante 15 min. Después de 8 semanas las variables a evaluar serán: número de embriones germinados y no germinados.

Diseño experimental en la embriogénesis

En la etapa de establecimiento aséptico de cada variedad, se utilizará un diseño completamente al azar con un arreglo factorial 2 x 2x2, donde el factor A serán los medios, el factor B serán las variedades y el factor C serán los procesos de desinfección dentro de la campana de flujo laminar, obteniendo un total de 6 tratamientos con cinco repeticiones. Las variables que se evaluarán serán: porcentaje de contaminación, oscurecimiento y porcentaje de callo en los explantes a 7 y 14 días después del establecimiento.

Para la inducción de callo embriogénico, el experimento se establecerá bajo un

diseño completamente al azar con arreglo factorial 2 x 4, donde el factor A serán las variedades, el factor B las concentraciones del regulador de crecimiento, obteniendo un total de 8 tratamientos por variedad con 6 repeticiones. Las variables a evaluar serán: el porcentaje de calogénesis y porcentaje de callo embriogénico a los 20, 40 y 60 días después de la siembra.

En la maduración de los embriones somáticos, se utilizará el mismo diseño experimental descrito anteriormente, con arreglo factorial 2 x 2 x 3, donde el factor A son las variedades, el factor B los medios de maduración y el factor C las tres concentraciones de la hormona IBA, con un total de 12 tratamientos por variedad y 6 repeticiones. Las variables a evaluar serán: número de embriones en los diferentes estados de desarrollo (globular, acorazonado, torpedo y cotiledonar) en 1.0 g de callo embriogénico.

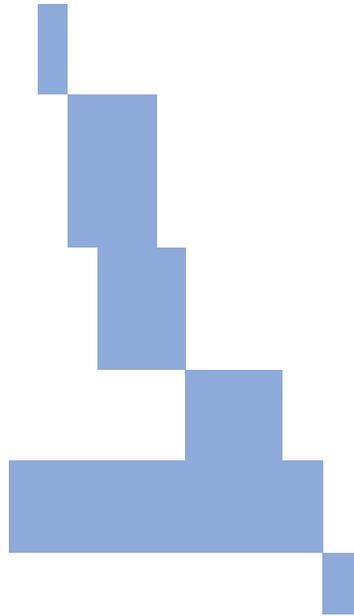
Finalmente, en la etapa de germinación, se establecerá bajo el mismo diseño experimental con un arreglo factorial 2 x2x 3, donde el factor A serán las variedades, el B serán los medios de cultivo y C las concentraciones BAP, con un total de 12 tratamientos con 6 repeticiones. Las variables que se evaluarán serán: número de embriones germinados y número de embriones. Los datos serán analizados a través de un análisis de varianza y la prueba de comparación de medias Tukey utilizando el programa estadístico Statistical Package for the Social Sciences (SPSS), en cada etapa.

Plan de trabajo y calendarización

Años:	2020		2021	
Semestres	Uno	Dos	Tres	Cuatro
Actividades	E - J	J -D	E - J	J -D
Redacción y revisión del anteproyecto				



Presentación del anteproyecto
Establecimiento aséptico de bioensayos e inducción de las técnicas
Etapas de multiplicación y maduración en las técnicas
Etapas de tuberización y germinación
Redacción y revisión de tesis
Examen de grado



Desglose financiero:

Concepto	Costo
Materiales y suministro	35,000.00
Material de cristalería	15,000.00
Consumible de uso diario	12,000.00
Fungicidas.	3000.00
Total: 65,000.00	

Agradecimientos

A Dios primero por sus bendiciones y sus bondades en mi vida. Al Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales de la Facultad de Agronomía (UANL), por la disponibilidad para el desarrollo de este proyecto. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca de manutención.

Referencias Bibliograficas

Alarcón R. N.M., Lozoya S. H., Valadez M. E., (2009). Caracterización de ADN de clones de papa e identificación de citoplasmas asociados al síndrome de la punta morada. *AGROCIENCIA*, 16 de mayo - 30 de junio.

CONPAPA, (2013). Consumo y mercadeo de la papa en México. (Consumo de la papa). En

línea:<https://consumoymercadodepapa.wordpress.com/2014/11/28/consumo-y-mercadeo-de-la-papa-en-mexico/>

Cortez, M. R., y Hurtado, G., (2002). Guía Técnica CULTIVO DE La Papa, La Dirección Ejecutiva del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA). Salvador 14, 15 pp.

FAO, (2008). Año internacional de la papa (La papa). En línea: <http://www.fao.org/potato-2008/es/lapapa/index.html>.

Gamborg O.L., Miller R.A., Ojima K. (1968). Nutrient requirement of suspensions cultures of soybean root cells. *Exp. Cell Res.* 50:151-158.

Gisbert, D., Martínez, R., (2010). Morfogénesis: la ruta organogénica versus la ruta embriogénica. Departamento de Biotecnología, ETSIAMN-Universidad Politécnica de Valencia p2.

Hernandez, D. H., & Diaz B. P., (2019). In vitro induction of embryogenic callus from anther culture in "yellow potato" *Solanum goniocalyx* Juz. & Bukasov (Solanaceae).

Haro, F., Jimenez V., (2019). Importancia de la producción de Papa en México. (La papa). En línea:<https://www.elsoldemexico.com.mx/analisis/importancia-de-la-produccion-de-papa-en-mexico-3433659.ht>.

Carlos, J. I., Agramonte, D., Alvarado, C. Y., Manuel, F. (2012). Empleo de métodos biotecnológicos en la producción de semilla de papa. *Biotecnología Vegetal* Vol. 12, No. 1: 3 – 24.

MURASHIGE, T., SKOOG, F., (1962). A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture. *Physiology Plant.* 15: 473-497.



- Linares, Y., y Gutierrez, A. (2002). La competitividad de la producción de papa (*Solanum tuberosum*) en el Municipio Pueblo Llano, estado Mérida, Venezuela. *Agroalim* [online]. 2002, vol.7, n.15, pp. 37-47.
- SIAP, (2018). Infografía Agroalimentaria de Nuevo León. En línea: <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>.
- Segretin, M., y Diaz, P., (2006). Los cultivos celulares y sus aplicaciones II (cultivos de células vegetales). Consejo Argentino para la información y el desarrollo de la biotecnología (ArgenBIO)p.4



Comportamiento agronómico y bioquímico de solanáceas (tomate y chile) por enfermedades virales

Juan Adalberto Padilla-Garza, Guillermo Niño-Medina, Omar Guadalupe Alvarado-Gómez, Emilio Olivares Sáenz.

Facultad de Agronomía, UANL. Av. Francisco Villa S/N, Col. Ex Hacienda el Canadá, tel. (81) 1340 4399. Email: jpadillagz@uanl.edu.mx

Resumen: El tomate (*Solanum lycopersicum*) y el chile (*Capsicum spp.*) son hortalizas pertenecientes a la familia de las Solanáceas de gran importancia a nivel mundial debido a su amplia distribución en cuanto a superficie sembrada y producción. Como productos frescos se utilizan en la elaboración de diversos platillos típicos alrededor del mundo y son destinados en cantidades importantes a la industria de los enlatados, México es uno de los principales productores y exportadores de estos cultivos a nivel mundial, sin embargo, algunas enfermedades de origen viral limitan su producción y aprovechamiento tanto en el ámbito global como en el nacional, el Virus del Enrollamiento de la Hoja Amarilla del Tomate (TYLCV) además de producir importantes pérdidas en las cosechas de estos cultivos, ocasiona un deterioro en las propiedades nutraceuticas de sus frutos, el objetivo del presente trabajo es realizar una caracterización metabolómica en plantas y frutos de tomate y chile con la finalidad de identificar diferencias en los contenidos de compuestos fenólicos y actividad antioxidante entre plantas sanas y plantas infectadas por TYLCV para contribuir a un mayor entendimiento de la forma en que esta enfermedad afecta la calidad de estos productos alimenticios.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum*, *Capsicum spp.*, TYLCV, compuestos fenólicos, capacidad antioxidante.

Abstract: The tomato (*Solanum lycopersicum*) and the pepper (*Capsicum spp.*) are vegetables of the Solanaceae family of great worldwide importance because of its large cropping area and production, as fresh fruits they are used as ingredients of many dishes around the world, also they are destined to the canning industries in important amounts, México is one of the main worldwide tomatoes and peppers producer and exporter countries, however some viral diseases restrict their production and profiting either as a global level as a national one, the Tomato Yellow Leaf Curl Virus not only produces important crop losses in this cultivated plants, but also causes a deterioration in the nutraceutical properties of its fruits, the aim of this work is to carry out a metabolomic characterization on leaves and fruit of tomato and pepper plants to identify phenolic compounds and antioxidant capacity differences among healthy and TYLCV infected plants to contribute to a major knowledge of the way this disease affect this edible products.

Keywords: *Solanum lycopersicum*, *Capsicum spp.*, TYLCV, phenolic compounds, antioxidant capacity.

Introducción

La familia de las solanáceas comprende alrededor de 3000 a 4000 especies,

distribuidas en aproximadamente noventa géneros (Gebhardt, 2016). Es una familia de gran diversidad que incluye tanto arboles perenes como especies herbáceas anuales



y están adaptadas a un amplio rango de hábitats terrestres desde desiertos hasta bosques lluviosos. Del total de especies de esta familia, alrededor de 15 géneros proveen utilidad alimenticia alrededor del mundo, de estos solo cuatro géneros contienen especies cultivadas de significancia económica, la mayoría de ellas pertenecientes al género *Solanum*, el resto se encuentran en los géneros *Capsicum*, *Physalis* y *Lycium* (Samuels, 2015). Las Solanáceas de América del Sur han generado muchas plantas de extrema importancia económica tales como la papa, el tomate y el chile (Prance, 2003).

El tomate es la segunda hortaliza (después de la papa) de mayor producción en el mundo, en 2016 el valor de la producción mundial de tomate fue de casi 117 mil millones de dólares, con una producción global de poco más de 178 millones de toneladas, en el periodo 2010 a 2018 la producción mundial de esta hortaliza ha crecido de forma sostenida a una tasa anual promedio de 2.20%. México, es el mayor exportador de tomate y en 2018 ocupó el décimo lugar en producción a nivel mundial con un volumen de aproximadamente 4.5 millones de toneladas (FAOSTAT, 2020).

Los chiles picantes y pimientos frescos se encuentran dentro de los 35 productos de origen vegetal de mayor producción en el mundo alcanzando un volumen de casi 37 millones de toneladas en el 2018, México ocupa el segundo lugar en producción y es el principal exportador de chile a nivel mundial (FAOSTAT, 2020). En el 2016 este producto representó el 3.50% del PIB Agrícola Nacional, con un valor de la producción de casi 18 mil millones de pesos, una producción anual de 3.2 millones de toneladas y un crecimiento anual promedio de 4.82% en el periodo 2003-2016 (Planeación Agrícola Nacional 2017-2030). A nivel mundial entre un 20 y un 40% de la productividad agrícola sufre pérdidas a causa de plagas, enfermedades y malezas, se estima que las pérdidas en campo

causadas por enfermedades fitopatógenas son de alrededor de 10% (Esker *et al.*, 2012) y aunque las pérdidas causadas únicamente por enfermedades virales son difíciles de calcular, se considera que los virus son la segunda causa de enfermedades fitopatógenas que mayores pérdidas producen a nivel mundial solo por debajo de los hongos (Reddy *et al.*, 2009).

Entre las enfermedades virales que afectan a las Solanáceas, una de las más ampliamente distribuidas a nivel mundial y que representa serias amenazas a la producción de tomate y chile es el Enrollamiento de la Hoja Amarilla del Tomate (TYLCV, por sus siglas en inglés), esta enfermedad es causada por un complejo de especies virales del género *Begomovirus*, perteneciente a la familia *Geminiviridae* (Hanssen *et al.*, 2010).

Entre los síntomas que el TYCLV produce en plantas de tomate se pueden encontrar: enrollamiento hacia arriba del margen de los folíolos de las hojas, reducción de la superficie de las hojas, clorosis en hojas jóvenes, achaparramiento y aborto de flores (Hanssen *et al.*, 2010).

Bhyan *et al.* (2007) experimentaron con extractos vegetales para el control de vectores en plantas de tomate, midiendo la incidencia y la severidad con que se presentaba la enfermedad TYLCV, entre sus experimentos determinaron el contenido de algunos nutrientes en los frutos y encontraron que independientemente del tratamiento con extractos vegetales, las plantas que presentaban síntomas de TYLCV tuvieron una disminución en el contenido de Vitamina C, fósforo, potasio, hierro y Nitrógeno en comparación con las plantas sanas.

Las primeras evidencias de TYLCV infectando plantas de chile fueron aportadas por Polston y colaboradores en el 2006, los síntomas que reportaron fueron clorosis, moteado y enrollamiento, sin embargo, estudios anteriores establecían que las



plantas de Chile infectadas por TYLCV eran asintomáticas (Rezk, 2016).

Villa-Ruano *et al.* (2018) realizaron un experimento con la finalidad de identificar cambios en el perfil metabólico de frutos de Chile entre plantas sanas y plantas infectadas por virus de la punta rizada del betabel (BMCTV por sus siglas en inglés), encontrando un incremento en los niveles de fructosa, glucosa y algunos aminoácidos, en frutos que presentaban los síntomas de la enfermedad.

Los compuestos fenólicos forman parte del sistema de defensa de las plantas y juegan un importante papel en la respuesta ante el ataque de patógenos (Kumar *et al.*, 2014), estos metabolitos secundarios se clasifican en ácidos fenólicos, flavonoides, estilbenos, cumarinas, ligninas y taninos (Shahidi and Yeo, 2018).

Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios de gran interés debido a su marcada acción antioxidante y como moléculas de gran beneficio en la salud humana (Martin, 2018).

El objetivo del presente trabajo es realizar una comparación de la capacidad antioxidante y el contenido de compuestos fenólicos en hojas y frutos de tomate y Chile, entre plantas sanas y plantas infectadas con TYLCV para identificar los cambios que la enfermedad induce en el metabolismo secundario de estas solanáceas.

Materiales y Métodos

Este trabajo de investigación se llevará a cabo en un invernadero del Centro de Agricultura Protegida (CAP) y en los Laboratorios de Fitopatología, Química y Bioquímica de la Facultad de Agronomía de la UANL campus Escobedo.

Preparación de muestras para la detección de TYLCV.

Plantas de tomate y Chile serán expuestas a la acción de mosquitos blancos (*Bemisia*

tabaci) para la transmisión del virus, posteriormente se hará un muestreo de tejido vegetal (hojas) una vez que los síntomas de TYLCV sean visibles, y en las etapas de floración y madurez fisiológica. Simultáneamente se mantendrán plantas sanas protegidas contra moscas blancas con una jaula con malla.

Se hará la extracción de ADN total a partir de muestras de 100 mg de tejido vegetal utilizando el método del Trizol^{MR} (Molecular Research Center, Inc.), se evaluará la integridad y concentración de ADN total mediante electroforesis en gel de agarosa al 0.8% y mediante cuantificación en un espectrofotómetro Take 3^{MR} (Bioelec, EE.UU.) respectivamente, el ADN será almacenado en un ultra congelador (3003 Ultrafreezer Thermo Scientific, Waltham, MA, USA) a -70°C hasta su utilización.

Reacción en cadena de la polimerasa

Las concentraciones de los componentes de las reacciones de PCR serán las utilizadas por Anfoka *et al.* (2009), 25 μM desoxinucleótidos trifosfato (dNTPs), 2.5 mM MgCl₂, 5 unidades de Taq DNA polimerasa, primers genéricos y específicos 0.2 μM, 3 μl de muestra de ADN como molde y buffer PCR 1X a completar un volumen final de 25 μl. El programa de termociclado será el siguiente, un ciclo de desnaturalización inicial a 94°C por 5 min; 32 ciclos a 94°C por 45 s, 58°C por 20s y 72°C por 60 s, seguido de un paso de extensión final a 72°C por 5 min.

Para la amplificación del ADN viral por PCR en las muestras vegetales de Chile se utilizarán los primers TYC1F 5'-GGGCCTAGAGACCTGGCCAC-3' y TYC1R 5'-CCG GTAATATTATACGGATGGC-3', que amplifican un fragmento del gen *Rep* y la región intergénica de 856 pb (Hernández-Espinal *et al.*, 2018), para las muestras vegetales de tomate se utilizarán los primers



Rep-DGSAG (5'-GAGTCTAGATGCTGACCTCCTCTAGCW GATCTGCCGTC-3') e *YMAC-Rev* (5'-GAGTCTAGAGGRTTAGARGCATGHGTA CATGCCAT-3') que amplifican la mitad superior del TYLCV (Lugo-Melchor *et al.*, 2011).

Preparación de muestras para HPLC en Chile

La determinación de los compuestos fenólicos se llevará a cabo en hojas de las etapas: vegetativa, floración y madurez fisiológica y en frutos en madurez comercial.

Extracción de Capsaicinoides

Para la extracción y cuantificación de Capsaicinoides procederemos según lo descrito por García-López, *et al.* (2019), se pesaran 5 g de Chile (placenta y pericarpio libre de semillas) y se añadirán 25 mL de acetona, la mezcla será homogenizada por 30 s en una licuadora Oster (M4655-813/465-42, Sunbeam, Ciudad de México, México) el extracto será calentado a 50°C en un horno de laboratorio (ON-12G, Jeio Tech, Seoul, Korea), después de este proceso la muestra será centrifugada a 4500xg por 5 min y el sobrenadante será recuperado para el análisis.

Cuantificación de Capsaicina e Hidrocapsaicina.

Para el análisis de cromatografía líquida los extractos de acetona que se obtuvieron en la extracción serán filtrados con una jeringa a través de un filtro de 0.25 mm de diámetro con poro de 45 µm y 10 µl serán inyectados en el sistema Agilent Technologies 1260 Infinity HPLC, equipado con una bomba cuaternaria 1260 G1311C, una cámara de columna con termostato G1316A, un auto muestreador G1329B y un detector diodo array G4212B (Santa Clara, CA, USA), la columna que se emplea es una ZORBAX

Eclipse Plus C-18 analytical column (100 mm × 3 mm id, 5 µm) la fase móvil seleccionada consiste en acetonitrilo al 100% (solvente A) y ácido acético al 1% en agua (solvente B) en una relación 60:40, con un flujo constante de 1 mL min⁻¹ a 25°C y un tiempo de corrida de 20 min, la absorbancia será medida a 280 nm. La curva de calibración para determinar la concentración de capsaicina) e hidrocapsaicina (Sigma Aldrich, St. Louis, MO, USA) se hará con concentraciones de 0, 80mg kg⁻¹, 160mg kg⁻¹, 240mg kg⁻¹ y 320mg kg⁻¹.

Preparación de muestras para HPLC en tomate

Para la determinación de licopeno los frutos de tomate deben ser congelados y liofilizados, para este proceso se usará un equipo marca Labconco modelo Freezone 4.5 (Kansas, MO, USA).

Extracción de Licopeno

La extracción de licopeno se realizará de acuerdo a lo descrito por Rivera-Castro (2011), se pesa 1 g de muestra liofilizada y se añaden 25 mL de agua destilada, la mezcla se homogeniza en una licuadora Oster (M4655-813/465-42, Sunbeam, Ciudad de México, México) por 90 s y se agregan 100 mL de una solución de hexano, acetona, etanol en una proporción 2:1:1 (v:v:v), se agita durante 5 min y se deja reposar para la separación de fases, se recupera 1 mL del sobrenadante de hexano, se evapora a una temperatura de 45°C en baño de agua, se purga con una corriente de argón por 30 s, este proceso se debe llevar a cabo bajo condiciones mínimas de luz. Una vez evaporado el solvente, el extracto se cubre con papel aluminio y se almacena a -20°C hasta el momento de su análisis, en el cual se disolverá a un volumen final de 6 mL con hexano.



Cuantificación de licopeno

Este procedimiento se llevará a cabo según lo descrito por Candelas-Cadillo *et al.* (2005), usando el mismo equipo HPLC descrito en el proceso de cuantificación de capsaicinoides, una columna ZORBAX Eclipse Plus C-18 analytical column (100 mm × 3 mm id, 5 µm), la fase móvil consiste en una solución de acetonitrilo:metanol:2propanol en proporción 38:60:2 (v:v:v). La velocidad de flujo será de 1 mL min⁻¹, se inyectan 20 µL del extracto y el licopeno se cuantificará a una longitud de onda de 470 nm. La curva de calibración para determinar la concentración de licopeno (Sigma Aldrich, St. Louis, MO, USA) se hará con concentraciones de 0, 10, 20, 30 y 50 µg mL⁻¹. Todo el proceso se debe de llevar a cabo bajo condiciones mínimas de iluminación.

Extracción de compuestos fenólicos solubles y ligados.

La extracción de compuestos fenólicos solubles se realizará a partir de una muestra de 5 g de pericarpio y placenta de frutos libres de semilla y 50 mL de metanol al 80%, la muestra debe ser purgada con una corriente de argón por 30 s y homogenizada por 45 s en una licuadora Oster (M4655-813/465-42, Sunbeam, Ciudad de México, México), se filtra la mezcla en tela de organza para separar la fracción insoluble de la fracción líquida, el filtrado se coloca en tubos de centrifugado de 15 mL, el extracto se centrifuga a 4500xg, se recupera el sobrenadante y se congela a -20°C hasta su análisis.

Los extractos fenólicos ligados se obtendrán a partir de la fracción insoluble remanente, mediante la adición de 10 mL de una solución de 2 mol L⁻¹ de NaOH, la muestra se purga con una corriente de argón por 30 s, la mezcla se agita a 200 rpm por 2 h. Enseguida se ajusta el pH a 2.5 con HCl

concentrado y se centrifuga a 4500xg, se recupera el sobrenadante y se extraen los compuestos fenólicos con 10 mL de acetato de etilo, este proceso se repite dos veces. Se mezclan ambos extractos y se evapora con argón a 40°C, los remanentes de la evaporación se congelan a -20°C. Antes de su análisis se agregarán 3 mL de metanol al 80% a los extractos fenólicos solubles y ligados, para ser usados en la determinación de compuestos fenólicos (fenoles totales, flavonoides totales, taninos condensados) y capacidad antioxidante (DPPH, ABTS y FRAP).

Determinación de fenoles totales

La determinación de compuestos fenólicos se realizará de acuerdo a lo descrito por López-Contreras *et al.* (2015). Para fenoles totales se usará un espectrofotómetro Barnstead International Turner SP-830 Plus, para lo cual se mezclarán 0.2 mL del extracto, se añadirá 2.6 mL de agua destilada y 0.2 mL del reactivo Folin-Ciocalteu, pasados 5 minutos, se agregan 2 mL de NaCO₃ al 7% y se agitará por 30 s, la reacción se llevará a cabo en la oscuridad por 90 min, después se medirá la absorbancia a 750 nm. Para el cálculo de la concentración de fenoles totales se realiza una curva de calibración con soluciones estándar de 0 a 200 mg L⁻¹ de ácido gálico, los resultados se expresan en microgramos equivalentes de ácido gálico por gramo (mgEAG g⁻¹) de materia seca.

Determinación de flavonoides totales

Para la determinación de flavonoides totales se mezcla 0.2 mL del extracto, 3.5 mL de agua destilada y en forma consecutiva se añadirán cada 5 minutos 0.15 mL de NaNO₂ al 5%, 0.15 mL de AlCl₃ al 10% y 1 mL de NaOH 1M, la reacción se prolonga por 15 min y se mide la absorbancia a 510 nm.



Determinación de taninos condensados

Para la determinación de taninos condensados se mezcla 0.25 mL del extracto con 0.65 mL de vanillin al 1%, se añaden 0.65 mL de H₂SO₄ al 25% (ambos reactivos diluidos en metanol), la reacción se prolonga por 15 min a 30°C y se mide la absorbancia a 500 nm.

Para el cálculo de la concentración de flavonoides totales y taninos condensados se realiza una curva de calibración con soluciones estándar de 0 a 200 mg L⁻¹ de catequina, los resultados se expresan en microgramos equivalentes de catequina por gramo (mgECat g⁻¹) de materia seca.

Determinación de capacidad antioxidante

La determinación de capacidad antioxidante se realizará de acuerdo a lo descrito por López-Contreras *et al.* (2015) para DPPH se mezclan 50 µL del extracto con 1.5 mL de una solución de trabajo DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) 60 µM en metanol al 80% (previamente ajustada a una absorbancia de 1.00), la reacción se prolonga por 30 min en oscuridad y posteriormente se mide la absorbancia a 517 nm.

Para determinar la capacidad antioxidante ABTS se utiliza una solución de trabajo que resulta de la mezcla de 1 mL de ABTS (2,2'azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) 7.4 mM con 1 mL de K₂S₂O₈ 2.6 mM, preparada 12 h antes de su uso en la oscuridad. Posteriormente se mezclan 50 µL del extracto con 1.5 mL de la solución de trabajo ABTS (previamente ajustada a una absorbancia de 1.00) y se mide la absorbancia a 734 nm.

La capacidad antioxidante FRAP se determina mediante el uso de una solución de trabajo que se prepara realizando una mezcla de C₂H₃NaO₂·3H₂O a 300 mM (pH

3.6), TPTZ (2,4,6-tripyridyl-s-triazina, en 40 mM HCl) al 10 mM y FeCl₃·6H₂O a 20 mM en una relación 10:1:1 (v:v:v). Se mezclan 50 µL del extracto y 1.5 mL de la solución de trabajo FRAP, la reacción se prolonga por 30 min en la oscuridad a 37°C y se mide la absorbancia a 593 nm.

En los análisis de capacidad antioxidante se emplea una curva de calibración de 0 a 200 µmol L⁻¹ usando trolox como estándar, los resultados se expresan en micromoles equivalentes de trolox por gramo (µmolET g⁻¹) de materia seca.

Plan de trabajo y calendarización

A continuación, se presenta una tabla de calendarización de actividades a desarrollar durante la investigación.

Actividad	2020		2021		2022
	Ene-Jul	Ago-Dic	Ene-Jun	Ago-Dic	Ene-Jul
Revisión de literatura					
Unidades de aprendizaje					
Elaboración de anteproyecto					
Recolección de muestras					
Análisis de muestras					
Análisis de resultados					
Asistencia a congreso					
Redacción de tesis					
Redacción y envío artículo					
Examen de grado					

Desglose financiero

A continuación, se presenta una tabla con el presupuesto de gastos contemplados en el desarrollo el proyecto y actividades inherentes.



Concepto	Monto
Reactivos	\$30,000.00
Consumibles	\$10,000.00
Servicios de secuenciación	\$5,000.00
Viáticos	\$3,000.00
Asistencia a congreso	\$15,000.00
Monto total	\$63,000.00

Agradecimientos

A la Facultad de Agronomía de la UANL por permitir el uso de sus instalaciones y equipo para realizar esta investigación y al CONACYT por el apoyo económico.

Referencias Bibliográficas

- Anfoka, G., Ahmad, F. H., Abhary, M. & Hussein, A. (2009). Detection and molecular characterization of viruses associated with tomato yellow leaf curl disease in cucurbit crops in Jordan. *Plant Pathology* 58, 754-762.
- Bhyan, S. B., Chowdhury, M. A. H., Alam, M. M., & Ali, M. S. (2007). Incidence and severity of tomato yellow leaf curl virus under phytopesticidal management. *International Journal of Agricultural Research* 2 (7), 590-598.
- Candelas-Castillo, M. G., Alanís-Guzmán, M. G. J & Del Río-Olague, F. 2005. Extracción y cuantificación por HPLC de licopeno en tomate y polvo de tomate. VII Congreso Nacional de Ciencia de los Alimentos y III Foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Guanajuato, Gto.
- Esker, P. D., Savary, S. & McRoberts, N. (2012). Crop loss analysis and global food supply: focusing now on required harvests. *CAB Reviews* 7, No. 052.
- FAOSTAT. (2020). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Statistics Division. Información disponible en línea: <http://www.fao.org/faostat/es/#home>
- García-López, J. I., Niño-Medina, G., Olivares-Sáenz, E., Lira-Saldivar, R. H., Díaz Barriga-Castro, E., Vázquez-Alvarado, R., Rodríguez-Salinas, P. A. & Závila-García, F. 2019. Foliar application of zinc oxide nanoparticles and zinc sulfate boosts the content of bioactive compounds in habanero peppers. *Plants* 8, 254.
- Gebhardt, C. (2016), The historical role of species from the Solanaceae plant family in genetic research. *Theor Appl Genet* , 129:2281–2294.
- Hanssen, I. M., Lapidot, M. & Thomma, B. P. H. J. (2010). Emerging Viral Diseases of Tomato Crops. *MPMI* 23 (5): 539–548.
- Hernández-Espinal, L. A., Enríquez-Verdugo, I., Melgoza-Villagómez, C. M., Retes-Manjarrez, J. E., Vélarde-Félix, S., Linares-Flores, P. J. & Garzón-Tiznado, J. A. 2018. Análisis filogenético y distribución de Begomovirus en el cultivo de chile (*Capicum annum*) en Sinaloa, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 41 (2): 149-157.
- Kumar, L., Mahatma, M. K., Kalariya, K. A., Bishi, S. K. & Mann, A. (2014). Plant phenolics: important bio-weapon against pathogens and insect herbivores. *Popular Kheti* 2 (3) (July-September).
- López-Contreras, J. J., Závila-García, F., Urías-Orona, V., Martínez-Ávila, G. C. G., Rojas, R. & Niño-Medina, G. 2015. Chromatic, phenolic and antioxidant properties of sorghum bicolor genotypes. *Not Bot Horti Agrobo*, 43(2):366-370.
- Lugo-Melchor, O. Y., Guzmán-Uriarte, R., García-Estrada, R. S., & León-Félix, J. 2011. Geminivirus transmitidos por mosca blanca (*Bemisia tabaci*) en tomate en el valle agrícola de Culiacán,



- Sinaloa. Revista Mexicana de Fitopatología, 29, 2, 109-118.
- Martin, D. A. (2018). Los compuestos fenólicos: un acercamiento a su biosíntesis, síntesis y actividad biológica. Revista de Investigación Agraria y Ambiental 9, 1.
- Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Gobierno de México. Información disponible en línea: <https://www.gob.mx/agricultura/acciones-y-programas/planeacion-agricola-nacional-2017-2030-126813>
- Prance, G. T. (2003). Fruits of Central and South America. En Benjamin Caballero (Ed.), The Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (p. 2810-2816). Amsterdam: Elsevier Science Ltd.
- Reddy, D. V. R., Sudarshana, M. R., Fuchs, M., Rao, M. C. & Thottappilly, G. (2009). Genetically engineered virus-resistant plants in developing countries: Current status and future prospects. En: Gad Loebenstein, John P. Carr (Ed.), Advances in Virus Research (p. 185-220). Amsterdam: Elsevier Science Ltd.
- Rezk, A.A. (2016). Molecular characterization of tomato yellow leaf curl virus (TYLCV) infecting pepper and common bean. International Journal of Virology, 12 (1-3): 1-9.
- Rivera-Castro, J. C. (2011). Parámetros físico químicos para la obtención de modelos de predicción en la calidad poscosecha del tomate (*Solanum lycopersicum L.*) (Tesis de Maestría en Ciencias). Facultad de Agronomía de la UANL, Escobedo, N.L.
- Samuels, J. (2015). Biodiversity of Food Species of the Solanaceae Family: A Preliminary Taxonomic Inventory of Subfamily Solanoideae. Resources, 4, 277-322.
- Savary, S., Ficke, A., Aubertot, J. N. & Hollier, C. (2012). Crop losses due to diseases and their implications for global food production losses and food security. Springer Science+Business Media B.V. & International Society for Plant Pathology.
- Shahidi, F. & Yeo, J. D. (2018). Bioactivities of phenolics by focusing on suppression of chronic diseases: A review. International Journal of Molecular Sciences, 19,1573.



Efecto de tres elicitors sobre cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en condiciones *in vitro* y controladas

Mario James Forest ^{1,2}, Ma. Del Carmen Ojeda Zacarías^{1,2}, Héctor Lozoya Saldaña³, Rigoberto E. Vázquez Alvarado¹, Emilio Olivares Sáenz¹, Alejandro Ibarra López¹.

¹Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León. Calle Francisco Villa S/N, Col. Ex Hacienda El Canadá, Gral. Escobedo, N.L. C.P. 66054. Méx. Tel. (81) 1340 4399.

²Universidad Autónoma de Nuevo León. Carretera Zuazua-Marín Km. 17.5. Marín NL. Facultad de Agronomía. Tel. (81) 1340 4399.

³Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma de Chapingo, Carretera México- Texcoco Km 38.5, 56230 Chapingo, CP 56230. México. Tel. (595) 9521500.

Email: mario.jamesft@uanl.edu.mx

Resumen: El cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) es una especie hortícola de importancia económica en México, es considerado el cuarto principal producto alimenticio del mundo, después del frijol, trigo, arroz y maíz. La papa es considerada como alimento base en la canasta básica y su consumo es indispensable por su contenido de carbohidratos ya que estos son necesarios en la dieta de hombre. Sin embargo, varios problemas fitosanitarios influyen en los bajos rendimientos y calidad del cultivo. Debido a esto, se han buscado soluciones alternativas viable siendo una el uso de elicitors y la combinación del cultivo *in vitro*. Por lo cual, el objetivo de este trabajo es probar el efecto de tres elicitors en la protección contra enfermedades, vigorización de plantas, rendimiento y calidad de tubérculos bajo condiciones controladas, así como determinar la respuesta morfogénica, crecimiento y multiplicación celular en condiciones *in vitro* en cultivo de papa.

Palabras clave: tubérculos, morfogénica, fitohormona, vigor, rendimientos.

Abstract: The potato crop (*Solanum tuberosum* L.) is a horticultural species of economic importance in Mexico; it is considered the fourth main food product in the world, after beans, wheat, rice and corn. The potato is affected as a basic food in the basic basket and its consumption is essential due to its carbohydrate content since these are necessary in the man's diet. In the embargo, several phytosanitary problems influence the low yields and quality of the crop. Due to this, viable alternative solutions have been sought, being the use of generators and the combination of *in vitro* culture. Therefore, the objective of this work is to test the effect of three elicitors on the protection against diseases, plant vigor, yield and quality of tubes under controlled conditions, as well as to determine the morphogenic response, growth and cell multiplication under *in vitro* conditions in potato cultivation.

Key words: tubers, morphogenic, phytohormone, vigor, yields.

Introducción

El cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) es originaria del norte de Titica, en los Andes del sur de Perú. Los primeros cultivares fueron seleccionados entre

6,000 y 10,000 años atrás. Entre las especies más destacadas están *Solanum bukasovii*, *S. multisectum* entre otros. Este cultivo se siembra en las regiones costeras de Chile, donde se habrían dispersado hacia el resto del mundo,



conociéndose colectivamente como *Solanum tuberosum* (Rodríguez, 2010). En Perú cuentan con amplia diversidad genética y que todavía se desarrolla en pequeñas parcelas en más de 300 mil hectáreas a nivel nacional. (Liza *et al.*, 2019).

La papa es una de las hortalizas principalmente desarrolladas en el mundo, siendo cultivada en más de 100 países. En los últimos los últimos 400 años, la papa ha sido de los principales alimentos que han permitido mitigar la hambruna después de distintos conflictos bélicos y económicos. (INTAGRI, 2017). A nivel mundial el cultivo de papa ocupa el cuarto lugar, por su alto nivel de producción después del maíz, arroz, trigo y frijol, se producen alrededor de 385 millones de toneladas de papa en el mundo, donde China es el principal productor y siguiendo la India, Estados Unidos, Rusia y Alemania. (Haro, 2019).

México ocupa 31^o lugar en la producción mundial de este cultivo, donde la producción nacional alcanza un total de 1.8 millones de toneladas. La papa se cultiva en 23 Estados de la República Mexicana, siendo Sonora el principal estado productor a nivel nacional con el 24.5%, Sinaloa, con el 17%, Puebla el 9.85%, Veracruz 8.30% y los demás estados como el Estado de México, Nuevo León, Chihuahua y Baja California Sur, se estima el 29% de la producción nacional del producto. Se dispone a la industria, el 56% para uso fresco y el 15% se trata para la producción de semilla (Haro, 2019). En México, este cultivo es sin duda uno de los alimentos más importante para la dieta del humano. En términos de consumo, la papa se coloca en quinto lugar solo por debajo del maíz, frijol, trigo y arroz. (Santo. Infoagro, 2017).

La biotecnología agrícola puede contribuir a incrementar la eficiencia en la

duplicación de material vegetal libre de patógenos y con características genéticas, morfológicas y fitosanitarias. Considerando que la tuberización *in vitro* es un asunto complicado que es afectado por los medios de cultivo. (Castro *et al.*, 2012).

La papa es uno de los cultivos más nutritivos y adaptables del mundo, con gran valor nutricional que se puede distribuir como mínimamente procesada. La duración de estos productos es disminuida por la reacción del pardeamiento enzimático. La concentración elevada de compuestos fenólicos, otorgan actividad antioxidante, además los sustratos de las enzimas están comprometidos con el pardeamiento enzimático. (García *et al.*, 2019).

La aplicación de la biotecnología vegetal en la agricultura aporta un gran avance significativo en los últimos veinte años y las técnicas de cultivo de tejidos vegetales han tenido un soporte primordial para estos avances. (Gonzales *et al.*, 2010). La técnica del cultivo *in vitro* se muestra como una alternativa idónea contra los métodos convencionales, ya que permite desarrollar enormemente la productividad, calidad del producto y rendimiento. (Rodríguez, 2018).

Los elicitores son moléculas capacitadas de estimular cualquier tipo de defensa en la planta y son causados por agentes bióticos y abióticos. Estos inductores son preparados para promover diferentes modos de defensa de la planta, como: Resistencia Sistémica Adquirida (relacionada al ácido salicílico y proteínas PR), Resistencia Sistémica Inducida (activada por cepas bacterianas de rizobacterias saprofitas) y Resistencia Local Adquirida (desencadenada por la respuesta hipersensible de la planta y la producción de fitoalexinas). (INTAGRI, 2017). Las plantas tienen genes que



codifican para producir numerosas “armas químicas”, extremadamente eficientes, que forman mecanismos de defensa cuya aceleración las protege del ataque de microorganismos patógenos. Estos mecanismos involucran la participación de un gran número de pequeñas moléculas exógenas, denominadas inductores, capaces de activar los mecanismos de defensa. (Gómez *et al.*, 2011). Las fitovacunas son sustancias con acción bioestimulante que aplicadas al cultivo de forma preventiva y sistemática durante su ciclo, son capaces de activar la inmunidad innata de las plantas para poderse defender de los patógenos que causan enfermedades, minimizando y retrasando la aparición y virulencia. (Mota, 2019)

Hipótesis

El uso de elicitores de inmunidad innata ayudarán a disminuir la incidencia de enfermedades, mejorar el vigor y el rendimiento del cultivo de papa.

Objetivo general

Probar el efecto de tres elicitores en la protección contra enfermedades, vigorización de plantas, rendimiento y calidad de tubérculos en el cultivo de papa.

Objetivos específicos

Determinar crecimiento, rendimiento y calidad de las plantas de papa bajo condiciones controladas.

- Evaluar la incidencia y severidad de enfermedades del cultivo bajo condiciones controladas.
- Determinar el efecto de elicitores sobre la producción de enzimas con resistencia a polifenoloxidasas, fenilalanina amonio-liasa y superóxido dismutasa en el cultivo.
- Determinar el efecto de elicitores sobre la producción de fenoles totales

y capacidad antioxidante (DPPH y ABTS) en cultivo.

- Cuantificar el porcentaje de oxidación y viabilidad de explantes en cultivo de papa en condiciones *in vitro*.
- Determinar la respuesta morfogénica, crecimiento y multiplicación celular, en el cultivo de papa en condiciones *in vitro*.

Materiales y Métodos

El presente trabajo se realizará en las instalaciones del Laboratorio de Biotecnología Vegetal, unidad Marín ubicado en la carretera Zuazua-Marín km 17.5 del municipio de Marín, Nuevo León, con una ubicación geográfica de (25° 25' 27" N, 100° 03' 19" W y 393 msnm). El primer y segundo experimento se establecerán en el Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales localizado en el Campus de Ciencias Agropecuarias en la Col. Ex Hacienda el Canadá, Av. Francisco Villa s/n, Escobedo, N. L., ambos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León durante el periodo de junio 2020 a octubre 2021.

Material vegetal

Se utilizará semilla de papa variedad Fianna de la región de perote Veracruz, del ciclo agrícola primavera-verano 2019 y cosechado en mayo, en esta investigación se establecerán dos experimentos. El primer experimento consistirá en establecer la siembra en cubitas o bolsas de propagación en condiciones controladas de fotoperiodo y humedad relativa en la unidad académica Marín. Mediante un diseño experimental completamente al azar más un testigo, quedando cuatro tratamientos con 15 repeticiones por tratamiento, resultando



un total de 60 plantas o unidades experimentales. La aplicación de los elicitores se realizará desde el establecimiento del cultivo hasta la cosecha, y se evaluarán las variables siguientes: unidades SPAD, incidencia y severidad de enfermedades, capacidad de antioxidantes y crecimiento, altura de planta, número y longitud de la hoja, diámetro de tallo, peso del tubérculo, número de tubérculos por planta, diámetro polar y ecuatorial del tubérculo y rendimiento por tratamiento. Se determinarán las enzimas polifenoloxidasas, fenilalanina amonio-liasa y superóxido dismutasa, así como compuestos fenólicos. Mientras que el segundo experimento se establecerá *in vitro* bajo condiciones controladas de temperatura, oscuridad y fotoperiodo, las variables a evaluar serán: porcentaje de asepsia, oxidación, viabilidad y respuesta morfogénica.

Medición de contenido de clorofila en la hoja (Unidades SPAD)

El Medidor de Clorofila SPAD Minolta 502 Plus se utilizará para determinar la cantidad relativa de clorofila presente, midiendo la absorbancia de la hoja a dos longitudes de onda. Se utilizarán estas dos absorbancias y el medidor calculará un valor numérico SPAD que será proporcional a la cantidad de clorofila presente en la hoja (Hurtado, 2017).

Incidencia y severidad de enfermedades

Se utilizará una escala de 0 a 5 como grado de incidencia por planta-enferma. En cada unidad experimental se contarán las plantas totales y las plantas que manifiesten síntomas de enfermas. Para las incidencias se determinará el porcentaje o número de plantas enfermas, mientras que la severidad se determinará por el porcentaje de área de tejidos cubierto con síntomas (García *et al.*, 2018).

Determinación Polifenoloxidasas (EC.1.14.18.1; PFO)

Esta enzima se extraerá con el procedimiento de extracción de la peroxidasa. La actividad enzimática de la PFO se evaluará mediante el método propuesto por Laminkanra (1995). La actividad enzimática se reportará como unidad de actividad enzimática/mg de proteína (U/mg/prot), donde una U será igual a la formación de 1 μmol de o-benzoquinona/min. (López *et al.*, 2014).

Fenilalanina amonio-liasa EC 4.3.1.5 (PAL)

Se extraerá con el método descrito por Martínez-Tellez y La Fuente (1997), y la actividad enzimática se reportará como Ug de peso fresco donde $U = \Delta$ (absorbancia) a 290 nm h^{-1} . (Lozoya *et al.*, 2007)

Determinación de Superóxido dismutasa EC.1.15.1.1. (SOD)

Se utilizará 0.05 g de polvo de acetona en tubos de fondo plano, posteriormente se agregarán 5 mL de solución amortiguador fosfato 0.01 M con pH 7.8 frío, continuando con la homogenización inmediata en hielo, y se centrifugará y se conservará a temperatura ambiente. En ausencia de luz será tomado 3 mL de solución amortiguadora EDTA-metionina, NBT y tritón, que se colocarán en tubo de ensayo de rosca. Se agregarán 0.5 mL de sobrenadante, se agitará, se adicionará rivo flavina, y se volverá a agitar, se iluminará por 7 min con lámpara de luz fluorescente, y se leerá la absorbancia a 560 nm. La actividad enzimática será reportar en unidades por gramo de peso fresco ($U\ g^{-1}\ p. f.$) (Lozoya *et al.*, 2007; Serrano-Cervantes *et al.*, 2016).

Determinación de fenoles totales

Se utilizarán 0.025 mL del sobrenadante, se agregarán 7.975 mL de agua desionizada + 0.5 mL del reactivo para fenoles de Folin-Ciocalteu (Sigma-Aldrich



Data sheet 47641) + 1.5 mL de carbonato de sodio 20 %. La mezcla se agitará y dejará reposar 2 h en la oscuridad para posteriormente ser leída la absorbancia a 760 nm en un espectrofotómetro (Genesys 10 Thermo Scientific, EUA). La cuantificación se realizará mediante una curva patrón de ácido tánico y la concentración de fenoles totales se registrarán como mg g⁻¹ p.f. (Alia-Tejacal *et al.*, 2002; Cornide *et al.*, 1994, 1997; Serrano-Cervantes *et al.*, 2016).

Capacidad antioxidante total frente al radical difenil picril hidrazilo (DPPH)

Se prepararán diluciones de cada muestra de manera que produzca un porcentaje de captación del radical libre DPPH entre 50 y 80 %. Se empleará como referencia el antioxidante sintético TROLOX. Los resultados se expresarán en Capacidad Antioxidante Equivalente al Trolox (TEAC-DPPH). (Suárez, *et al.*, 2014).

Capacidad antioxidante total frente al radical catión 2,2-azinobis (ácido 3- + etilbenzotiazolina-6-sulfónico) diamonio (ABTS)

Se prepararán diluciones de cada muestra de manera que se produzca un porcentaje de captación del radical ABTS entre 50 y 80 %. Se empleará como referencia el antioxidante sintético TROLOX. Las lecturas se realizarán a 734 nm. Los resultados se expresarán como TEAC-ABTS. (Suárez *et al.*, 2014).

Evaluación de las variables *in vitro*

Asepsia, oscurecimiento, viabilidad y respuesta morfogénica.

Preparación del medio de cultivo

El medio de cultivo que se utilizará será el medio de Murashige y Skoog (1962), (MS), más sacarosa 30 g L⁻¹, phytigel 4.4 g L⁻¹, y pH de 5.7. El medio se dosificará en

cajas Petri de 9 x 9 cm con 10 mL de medio. El medio de cultivo será esterilizado en la autoclave a 121 °C a 15 libras de presión por 15 min.

Pre-desinfestación del material vegetal El material se llevará al Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales, donde se iniciará el proceso de pre-desinfestación. Con el objetivo de eliminar la carga microbiana de los tubérculos se lavarán con jabón líquido y agua potable, pasando a colocarlos en una solución fúngica-bactericida con benomilo y oxitetraciclina por 30 minutos, después se retirará la solución y se enjuagarán.

Técnica de desinfestación

Con la finalidad de eliminar los contaminantes superficiales, los explantes se someterán a un proceso de desinfestación bajo una campana de flujo laminar. El material vegetal se sumergirá en una solución de etanol a una concentración del 70 % (v/v) durante 30 seg. Posteriormente los explantes se transferirán a una solución de hipoclorito de sodio comercial (Cloralex que contiene un 5.25 % de ingrediente activo), se preparará una concentración del 30 % (v/v) más Tween-20 al 0.01 % (Polyoxyethylene Sorbitan Monolaurate) durante 10 min. Finalmente se realizarán tres enjuagues con agua bidestilada esterilizada.

*Etapas de establecimiento *in vitro**

Después de cuatro semanas del establecimiento *in vitro* en el medio de cultivo MS, se establecerán los explantes de la variedad en estudio y serán incubados en condiciones controladas de temperatura de 25 ± 2 °C y en oscuridad. Se evaluará: el porcentaje de asepsia, oscurecimiento, germinación y viabilidad de los explantes.

Etapas de inducción de callo



Los explantes obtenidos de la etapa anterior se cultivarán en medio MS básico y se aplicarán los tres elicitores en dos concentraciones y un testigo, en condiciones de asepsia bajo una campana de flujo laminar. Cada tratamiento contará con 6 repeticiones. Terminado el subcultivo las unidades experimentales serán crecidas en las mismas condiciones de cultivo que la etapa anterior y serán colocadas bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial expresado como $3 \times 2 + 1$. Las variables por evaluar serán: oscurecimiento, viabilidad, y respuesta morfogénica.

Análisis estadístico

Los datos se analizarán estadísticamente mediante el programa IBM SPSS VERSION 21 (IBM, 2015). Para realizar el análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de comparación de medias por Tukey DMS a $p < 0.05$.

Plan de trabajo y calendarización

Años:	2020	2021		
	SEM -1	SEM-2	SEM-3	SEM-4
Actividades	E - J	J - D	E - J	J-D
Redacción y envío del anteproyecto	■			
Elaboración y presentación del anteproyecto		■		
Etapa uno:		■		
Etapa dos:		■	■	
Redacción y revisión de tesis			■	■
Examen de Grado				■

Desglose financiero:

MATERIALES:	COSTO APROXIMADO:
Reactivos	\$ 30, 000
Consumibles	\$ 10,000
Material de Cristalería e instrumental	\$ 20, 000
Materiales e Insumos de campo	\$ 10, 000
TOTAL	\$ 70, 000

Agradecimientos

A los laboratorios de Biotecnología Vegetal unidad Marín y Cultivo de Tejidos Vegetales, de la FAUANL, por la disponibilidad para realizar esta investigación y al Conacyt por la beca de manutención.

Referencias Bibliográficas

- Rodríguez, M. A. (2018). Cultivo *in vitro*: alternativa al cultivo tradicional de plantas medicinales. Facultad de Farmacia, Universidad Complutense. Tesis de Licenciatura p.2
- López, E. B., Damián, M. T. M., León, M. T. C., Bañuelos, C. B., Solís, J. M., Pérez, J. E. R. (2014). Actividad antioxidante y enzimática de albahaca 'Nufar' (*Ocimum basilicum* L.) almacenada en refrigeración. Agron.Mesoam vol.25 n.2. ISSN 1659-1321.
- Castro, J. I., Agramonte, D., Alvarado-Capó, Y., Fera, M., Pugh, T. (2012). Empleo de métodos biotecnológicos en la producción de semilla de papa.



- Biotecnología Vegetal Vol. 12, No. 1. ISSN 2074-8647, RNPS: 2154.
- Cervantes, S., Rocío., Lozoya-Saldaña, H., Colinas., & León., María-Teresa, B., & Leyva-mir, S., Gerardo. (2016). Algunas alteraciones enzimáticas en papa causadas por fungicidas. *Rev. Fitotec. Mex. Revista Chapingo Serie Horticultura* 10(1): 67-74. vol.39, n.1, pp.25-31.
- García-Procaccini, L. M., Capezio, S. B. (2019) Utilización de antioxidantes en papa (*Solanum tuberosum* L) mínimamente procesada. *Revista Latinoamericana de la Papa* 23 (2): 28–38.
- Gómez, D. E., Reis, E. M. (2011). Inductores abióticos de resistencia contra fitopatógenos. *Revista Química Viva - Número 1, año10. Química Viva*, vol. 10, núm. 1, pp. 6-17.
- Gonzales, G. R., Karla, Q., Basilio, C., & Peter, C. (2010). Cultivo de tejidos de plantas: estado actual, oportunidades y desafíos. *Ciencia e investigación agraria*. vol.37, n.3, pp.5-30.
- Gracia, E. E. L., Robledo, O. A., Benavides, M. A., Solís, G. S., González, M. S. (2018). Efecto de elicitors de origen natural sobre plantas de tomate sometidas a estrés biótico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, Volumen especial número 20.
- Haro, L. F. (2019) Importancia de la producción de Papa en México. En línea: <https://www.elsoldemexico.com.mx/analisis/importancia-de-la-produccion-de-papa-en-mexico-3433659.html>.
- Hurtado, E., González-Vallej, F., Röper, Ch., Bastías, E., Mazuela, P. (2017). Propuesta para la determinación del contenido de clorofila en hojas de tomate. Volumen 35, Nº 4. Páginas 129-130 IDESIA (Chile).
- INTAGRI. (2017). La Inducción de Defensa en las Plantas a través de Elicitors. Serie Fitosanidad Núm. 92. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 6 p.
- INTAGRI. (2017). Requerimientos de Clima y Suelo para el Cultivo de la Papa. Serie Hortalizas. Núm. 10. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 3 p.
- Liza, S. E. C., Córdoba, H. N., Muñoz, A. V., Martínez, L. A., Zúñiga-Dávila, D., Bendezú, S. G. (2019). Uso de inoculantes como estrategia de manejo agronómico sustentable en fincas de papa (*Solanum tuberosum*) de la región Lima. Volumen 37, Nº 3. Páginas 29-37 IDESIA (Chile).
- Lozoya-Saldaña, H., Rivera-Hinojosa, R., & Teresa., Colinas-León, M. (2007). Fenoles, Peroxidasa Y Fenilalanina Amonio-Lyasa: Su relación con la resistencia genética de clones de papa (*Solanum tuberosum* L.) contra el tizón tardío (*Phytophthora infestans* Mont. De Bary). *Agrociencia*, 41, 479-489.
- Mota, J. B. (2019). Las fitovacunas y su efecto vigorizante y protector en los cultivos. V Congreso Nacional de Fertilización y Nutrición en Hortalizas. Pp 1 – 83
- Rodríguez, L. E. (2010). Origen y evolución de la papa cultivada. *Agronomía Colombiana* 28(1), 9-17.
- Santo, A. E. (2017). Papa, el alimento de México (Infoagro). En línea. <https://mexico.infoagro.com/papa-el-alimento-de-México/>
- Suárez, S., Ale, N., Trabucco, J., Sanabria, O. (2014). Polifenoles, micronutrientes minerales y potencial antioxidante de papas nativas. *Rev soc quím Perú*. 80 (2).



Valorización avanzada de candelilla y otras plantas del semi-desierto mexicano

Nestor Everardo Aranda-Ledesma; Romeo Rojas; Víctor E. Aguirre-Arzola; Nancy del Pilar Medina-Herrera y Guillermo Cristian Guadalupe Martínez-Ávila

Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía, Av. Francisco Villa S/N, Col. Ex Hacienda el Canadá, Tel. (81) 1340 4399.

Email: nestor.arandald@uanl.edu.mx

Resumen: El semi-desierto mexicano alberga a numerosas especies forestales no maderables dentro de las cuales se encuentran la planta de candelilla, la gobernadora, la hojásén, el orégano mexicano y sangre de drago, estas especies han sido ampliamente utilizadas desde la antigüedad en la medicina tradicional y cuentan con una amplia aplicación en la industria debido a los compuestos bioactivos que contienen. Sin embargo, la falta de un estudio avanzado acerca de la composición química y la funcionalidad de dichos compuestos, así como los métodos de extracción tradicionales da como resultado un mínimo rendimiento y aprovechamiento de los componentes propios de las plantas. Debido a esto, el objetivo general del presente trabajo es desarrollar un estudio de valorización química-funcional de plantas del semi-desierto mexicano. Los resultados brindaran información para la aplicación de las mencionadas especies vegetales en procesos agroindustriales.

Palabras clave: *Euphorbia antisyphilitica* Zucc., compuestos bioactivos, plantas del semi-desierto, Aplicaciones agroindustriales, Análisis química-funcional.

Abstract: The Mexican semi-desert has numerous non-timber forest species, among them candelilla plant, creosote bush, American tarwort, Mexican oregano and leatherstem, have been widely used since antiquity in traditional medicine and they also have great applications in the chemistry industry because of its bioactive compounds. However, the lack of an advanced study of the functionality and chemistry composition of these plants, and along to the poor traditional extracting methods, resulting in a low yield and profiting of the plant proper components. For it, the general aim of the present work is to develop a study about the chemical characterization and functional valorization of the Mexican semi-desert's plants. The results will provide innovative information for the application of the aforementioned plant species in agroindustrial processes.

Keywords: *Euphorbia antisyphilitica* Zucc., bioactive compounds, semi-desert plants, agroindustrial applications, chemical-functional analysis.

Introducción

El desierto chihuahuense abarca una de las regiones áridas biológicamente más ricas de la tierra, con una extensa riqueza en flora, algunas de ellas endémicas (Balleza y Villaseñor, 2011).

Entre ellas destacan algunas especies, las cuales se describirán a continuación.

La planta de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.), es un arbusto perene con tallos cilíndricos (Rojas-Molina *et al.*, 2011) y que como respuesta de adaptación a condiciones de sequía extrema, produce cera que se deposita en



la superficie de los mismos (Scora *et al.*, 1995). La cera de candelilla posee un gran número de aplicaciones industriales y de uso doméstico, que han aumentado en los últimos años. Destacan la manufactura de cosméticos, pinturas, recubrimientos para frutos, revestimientos, aisladores, entre otros (Barsch, 2004). La cera de candelilla está compuesta principalmente de n-alcenos, siendo el hentriacontano el componente principal (Toro-Vázquez *et al.*, 2011); además contiene ésteres (29%), alcoholes y esteroides (20-29%) y ácidos libres (7-9%) (Moreau *et al.*, 2018). Por su parte, *Larrea tridentata* o comúnmente llamada gobernadora (Brinker, 1993) es un arbusto perenne xerófito siempre verde, ampliamente distribuida en zonas desérticas (Saldívar, 2003). Sus hojas contienen una espesa resina que se comporta como un antitranspirante (Saldívar *et al.*, 2003a); siendo el ácido nordihidroguaiarético (NDGA) (un lignano) (Peralta *et al.*, 2018) el que se encuentra en mayor proporción y representa aproximadamente el 10% del peso seco de las hojas (Floriano-Sanchez *et al.*, 2006).

La Hojasén (*Flourenzia cernua*) es un árbol caducifolio de tamaño mediano con frutos largos y cilíndricos que contienen pulpa y flores de color amarillo brillante (Rajagopal *et al.*, 2013). Tiene importancia terapéutica en el cuidado de la salud desde la antigüedad, debido sus altos contenidos de antioxidantes. Es una fuente rica de rinina, triterpenos y carbohidratos (Rahmani, 2015); además, cuenta de la presencia de minerales tales como P, Zn, Fe, Mn, Mg, Na, Ca y K (Akinyede y Amoo, 2009).

El orégano mexicano (*Lippia graveolens*), es una planta herbácea, perenne y aromática (Mata-González y Meléndez-González, 2005). Las infusiones de orégano mexicano se han usado

tradicionalmente para el tratamiento de enfermedades relacionadas con la inflamación. Su valor comercial radica en sus características como especia y condimento. Los estudios sobre *L. graveolens* se centran en el análisis del aceite esencial, el cual se caracteriza por la extracción de los compuestos volátiles del material vegetal (flores, brotes, semillas, hojas y otros). (Ait-Ouazzou *et al.*, 2011). Además, ha reportado que contiene altas cantidades de monoterpenos oxigenados, principalmente carvacrol (Rivero-Cruz *et al.*, 2011). Sin embargo, la información acerca de los compuestos polifenólicos así como la evaluación de su actividad biológica continua siendo limitada (Leyva-Lopez *et al.*, 2016).

Jatropha dioica conocida también como sangre de drago, es un subarbusto o arbusto perenne escasamente leñoso que va desde los 30 hasta los 150 cm de altura. (Manzanero-Medina *et al.*, 2009). Los estudios sobre *J. dioica* son escasos y algunos relativamente antiguos. Villarreal *et al.*, 1988), reportaron la presencia de cuatro diterpenos; el β -sitosterol, jatrofolona B, la citlalitrona y riolosatriona. En análisis cualitativos se ha detectado la presencia de alcaloides, triterpenos y esteroides, cumarinas, flavonoides; así como saponinas, fenoles y taninos en menores cantidades (Martínez *et al.*, 2014). En estudios recientes se ha determinado el contenido de antioxidante (Wong-Paz *et al.*, 2015) y su evaluación sobre hongos fitopatógenos (Gutiérrez-Tlahque *et al.*, 2019) por lo que presenta un potencial para ser utilizado en la industria agrobiotecnológica.

Por otra parte, la extracción tradicional de la cera de candelilla se lleva a cabo utilizando solventes tóxicos como el ácido sulfúrico que es muy corrosivo y contaminante a la vez, representando un



gran peligro tanto para el personal que se encarga de realizar esta actividad como al medio ambiente (Ochoa-Reyes *et al.*, 2010). También para la extracción de los compuestos bioactivos, el uso de solventes orgánicos tales como el metanol, hexano, benceno entre otros, contribuye fuertemente al flujo de desechos y es una fuente importante de emisión de compuestos orgánicos volátiles (VOC) al ambiente. Dado que los solventes constituyen alrededor del 80% del volumen total de productos químicos utilizados en muchos procesos industriales importantes (Häckl y Kunz, 2018), la búsqueda de soluciones alternativas en base a solventes amigables con el ambiente, continúa siendo una área importante de estudio de la química verde (Leitner, 2007). Los alcoholes simples tales como el etanol y la mezcla de éste con agua, son solventes ambientalmente preferibles; además han demostrado resultados favorables para la obtención de diversos compuestos bioactivos a partir de materiales vegetales, promoviendo así su uso en diversos sectores agroindustriales (Capello *et al.*, 2010).

Sin embargo, a pesar de los reportes acerca de la composición química y aplicaciones de los compuestos bioactivos de dichas especies vegetales, la información sigue siendo limitada, ya que estos se han enfocado al análisis y evaluación de ciertos metabolitos secundarios por lo que el aprovechamiento de los componentes vegetales (hojas, tallos) es mínimo, por lo tanto los objetivos del presente proyecto de investigación son los siguientes:

Objetivo general; Desarrollar un estudio de valorización química-funcional de las plantas de Candelilla, Gobernadora, Hojasén, Orégano mexicano y Sangre de Drago.

Objetivos específicos; 1) Realizar análisis proximal de las plantas del semi-desierto mexicano. 2) Obtener y caracterizar químicamente los extractos/compuestos bioactivos de las plantas. 3) Determinar las propiedades funcionales de los compuestos obtenidos. 4) Evaluar aplicaciones agroindustriales de los compuestos obtenidos.

Materiales y Métodos

El presente proyecto se realizará en las instalaciones de la Facultad de Agronomía, Unidad Escobedo en el Laboratorio de Química y Bioquímica. El material vegetal será recolectado en diversas regiones del semi-desierto mexicano.

A) Análisis proximal

Se realizará de acuerdo la metodología de Olvera-Novoa y Real-de León (1993) FAO.

Humedad

Se pesará alrededor de 5–10 g de la muestra. Posteriormente la muestra será colocada en un horno a 105°C/12 h hasta peso constante. Se dejará enfriar la muestra en un desecador. Se pesará nuevamente cuidando de que el material no este expuesto al medio ambiente.

Proteína cruda

Se pesará 1g de muestra y se colocará en un matraz Kjeldahl; posteriormente se agregarán 10g de sulfato de potasio, 0.7g de óxido de mercurio y 20 mL de ácido sulfúrico concentrado. Se colocará el matraz en el digestor en un ángulo inclinado y calentar a ebullición hasta que la solución se vea clara, se seguirá calentando por media hora más. Se dejará enfriar; durante el enfriamiento se adicionara poco a poco alrededor de 90 mL de agua destilada y desionizada. Una vez frío, se agregarán 25 mL de solución



de sulfato de sodio y se mezclará. Se agregará una perla de ebullición y 80 mL de la solución de hidróxido de sodio al 40% manteniendo inclinado el matraz. Hasta observar la formación de dos capas. Se conectará rápidamente el matraz a la unidad de destilación, se calentará y coleccionarán 50 mL del destilado conteniendo el amonio en 50 mL de solución indicadora. Al terminar la destilación, se realizará la titulación con la solución estándar de ácido clorhídrico.

Lípidos crudos

Se pesarán los matraces, una vez secados y enfriados. Se pesarán en un dedal de extracción manejado con pinzas, de 3 a 5 g de la muestra seca y se colocará en la unidad de extracción. El matraz contendrá éter de petróleo a 2/3 del volumen total. Se llevará a ebullición y se ajustará el calentamiento de tal manera que se obtengan alrededor de 10 reflujos por hora. Al término, se evaporará el éter por destilación o con rotavapor. Se colocará el matraz en el horno para eliminar el éter. Posteriormente se enfriarán los matraces en un desecador y serán pesados. La muestra desengrasada puede usarse para la determinación de fibra cruda.

Fibra cruda

Se pesarán de 2 a 3 g de la muestra desengrasada y seca. Se colocará en un matraz y se adicionarán 200 mL de la solución de ácido sulfúrico en ebullición. Se colocará en el condensador hasta la ebullición; de ser necesario se adicionará antiespumante. Se dejará hervir por 30 min, manteniendo constante el volumen con agua destilada y moviendo periódicamente el matraz para remover las partículas adheridas a las paredes. Se instalará el embudo Buchner con el papel filtro y precalentándolo con agua hirviendo. Simultáneamente y al término del tiempo de ebullición, se retirará el matraz, se dejará reposar por un minuto y

se de filtrar cuidadosamente usando succión. Se transferirá el residuo al matraz con ayuda de una piseta conteniendo 200 mL de solución de NaOH en ebullición y se dejará hervir por 30 min. Se precalentará el crisol de filtración con agua hirviendo y se filtrará cuidadosamente después de dejar reposar el hidrolizado por 1 min, se lavará el residuo con agua hirviendo, con la solución de HCl y nuevamente con agua hirviendo para terminar con tres lavados con éter de petróleo. Se colocará el crisol en el horno a 105°C por 12 horas y se enfriará en desecador. Finalmente se deberá pasar rápidamente los crisoles con el residuo y serán colocados en la mufla a 550°C por 3 horas, se dejarán enfriar en un desecador y serán pesados nuevamente.

B) Extracción de aceite esencial (arrastre de vapor)

Para la extracción de aceites esenciales se establecerá un sistema de arrastre de vapor. Se generará vapor de agua, añadiendo un volumen de un litro de agua destilada en un matraz bola de fondo plano, se aplicará calor mediante llama directa. Se pesarán 50 g de materia vegetal y consistirá en colocarla en un matraz bola de 3 bocas en ángulo, el flujo de vapor que atravesará el material vegetal extrayendo los compuestos; el vapor será retirado mediante un conector hacia un condensador tipo Liebig conectado a un enfriador marca Heidolph que implementa etilenglicol como refrigerante en contracorriente a 4°C, y finalmente el condensado será depositado en un embudo de separación, para realizar una separación por decantación. El aceite obtenido será almacenado en un congelador a 4°C en oscuridad hasta su análisis.

La caracterización de aceites esenciales se realizará siguiendo la metodología de



Safaei-Ghomi *et al.* (2009) por medio de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (CG/MS).

La caracterización de compuestos bioactivos se realizará de acuerdo a la metodología de Buendía *et al.* (2010) medio de cromatografía líquida de alta densidad acoplada a espectrometría de masas (HPLC/Q-TOF).

C) Extracción de cera de candelilla

Se realizará de acuerdo a la metodología de Ochoa-Reyes *et al.* (2011).

Los tallos de la candelilla serán cortados y posteriormente sometidos por inmersión en una solución de citratos al 1% a 80°C en un contenedor de acero inoxidable, se recuperará el cerote el cual flota en la superficie del contenedor y se someterá a un proceso de refinamiento.

Caracterización de cera de candelilla por FTIR-ATR

Se realizará de acuerdo a la metodología de Svečnjak *et al.* (2019).

Se ajustará la placa FTIR-ATR Agilent Cary 630 a 75°C. Se colocará una pequeña cantidad de una muestra (0.02 g – 0.05 g en solución líquida) directamente en el cristal de muestreo ATR (la cantidad de muestra debe cubrir toda la superficie del cristal). Se dejará la muestra en el cristal ATR durante 1 min para permitir la fusión, la homogeneización y la estabilización de la misma. Se leerá el espectro IR de la muestra con barridos entre 1350 y 3400 cm⁻¹ (Padmaja *et al.*, 2009) con 64 ciclos/escaneos por espectro a una resolución de 4 cm⁻¹.

D) Extracción de compuestos polifenólicos (asistida por ultrasonido)

La extracción de compuestos fenólicos se realizará mediante la metodología

propuesta por Castro-López *et al.* (2019). Cada muestra (5 g) será extraída al agregar 60 mL de etanol: agua 35:65 (v/v) a temperatura ambiente, manteniendo la relación 1:12 (p/v). Todas las extracciones serán realizadas en frascos de reactivo color café oscuro y serán sumergidos durante 40 min a temperatura ambiente (25°C) en un baño de ultrasonido (Model 2510, Sonics and Materials, Branson, MO, USA) a una potencia de 40 KHz (100%). Posteriormente, los extractos obtenidos serán filtrados mediante una bomba de vacío implementado papel filtro Whatman #41, la solución extractora será eliminada de los extractos filtrados mediante un secado en estufa a 50°C por 48 h.

Purificación

Se utilizará una columna cromatográfica con Amberlita XAD-16 (fase estacionaria) e agua y etanol como fase móvil. El agua se usará como eluyente para descartar compuestos no deseados, posteriormente se usará etanol como eluyente para obtener la fracción rica en polifenoles (Seeram *et al.*, 2005). El solvente se evaporará (50°C/48 h) y los polifenoles serán recuperados como polvo fino.

Determinación de actividad antioxidante

Las actividades antioxidantes de los compuestos fenólicos se realizarán de acuerdo con lo establecido por Martínez-Ávila *et al.* (2011).

Captación de radicales DPPH•

Se utilizará como disolvente metanol absoluto (60 µM), se añadirán 2900 µL de radical DPPH• por cada 100 µL de cada extracto. Las muestras serán colocadas incubadas en oscuridad durante 30 min y posteriormente se leerá la absorbancia a 517 nm.

Ensayo de inhibición del ABTS•+

Para ABTS•+ se formará el radical usando 12.5 mL de 2.45 mM de persulfato de



potasio mezclando con 25 mL de 7 mM de solución de ABTS y la mezcla se estandarizará de 12 a 16 h en un cuarto oscuro a temperatura ambiente. La absorbancia será medida a 734 nm y la solución de ABTS será diluida en etanol hasta obtener un valor de 0.7 ± 0.01 . Se usarán 950 μL de ABTS ajustado y se adicionarán 50 μL del extracto, la absorbancia será determinada inmediatamente.

Ensayo de inhibición de peroxidación de lípidos (LPO)

Se llevará a cabo usando ácido linoleico como fuente lipídica. La solución se preparará diluyendo 0.56 g de ácido linoleico y 1.5 g de Tween 20 en 8 mL de etanol al 96%. El extracto (50 μL) se mezclará con 100 μL de solución de ácido linoleico y 1.5 mL de 0.02 M de buffer acetatos, pH 4. Los controles contendrán 50 μL de agua destilada. Las muestras se homogenizarán en vortex y se sonicarán por 3 min. La emulsión será incubada a 37 °C, después de 1 min 750 μL de solución de FeCl_2 50 M para inducir la oxidación. Después de 24 h se adiciona 1 mL de 0.1 M NaOH en etanol al 10% en 250 μL para detener el proceso de oxidación. Después de mezclar, 2.5 mL de etanol al 10% son adicionados y se lee la absorbancia a 232 nm.

El rendimiento en base a la obtención de extracto dependiendo de la comunidad en la cual fue recolectada las diversas especies vegetal, será analizado por medio de un diseño factorial completamente al azar, la comparación de medias se realizará por medio de la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Todos los ensayos serán realizados por triplicado y analizados por medio del paquete estadístico SPSS Statistics 25.

Plan de trabajo y calendarización

ACTIVIDAD	2020		2021	
	Ene-Jun	Ago-Dic	Ene-Jun	Ago-Dic
Escritura y presentación del anteproyecto	■			
Escritura y envío de artículo de revisión	■	■		
Recolección de material vegetal	■	■		
Caracterización físico-química		■		
Caracterización funcional		■	■	
Evaluación aplicaciones agroindustriales		■	■	
Escritura y envío de artículo de resultados			■	■
Escritura de tesis	■	■	■	■

Financiamiento

El desglose financiero del presente trabajo de investigación estará de acuerdo al financiamiento del proyecto enmarcado en el Convenio UANL/CONAFOR/CONACYT con clave B-S-131466 a través del Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal.

Agradecimientos

Al CONACYT por el otorgamiento de la Beca Nacional de Posgrado.

Al Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal por el financiamiento del proyecto enmarcado en el Convenio UANL/CONAFOR/CONACYT con clave B-S-13146



Referencias Bibliográficas

- Ait-Ouazzou, A., Lorán, S., Bakkali, M., Laglaoui, A., Rota, C., Herrera, A., & Conchello, P. (2011). Chemical composition and antimicrobial activity of essential oils of *Thymus algeriensis*, *Eucalyptus globulus* and *Rosmarinus officinalis* from Morocco. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(14), 2643-2651.
- Akinyede, A. I., & Amoo, I. A. (2009). Chemical and functional properties of full fat and defatted *Cassia fistula* seed flours. *Pak. J. Nutr*, 8(6), 765-769
- Balleza, J. D. J., & Villaseñor, J. L. (2011). Contribución del estado de Zacatecas (México) a la conservación de la riqueza florística del Desierto Chihuahuense. *Acta botánica mexicana*, (94), 61-89.
- Barsch, F. (2004). Candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*): utilization in Mexico and international trade. *Medicinal Plant Conservation*, 9(10), 46-50.
- Brinker, F. (1993). *Larrea tridentata* (DC) Coville (chaparral or creosote bush). *British Journal of Phytotherapy*, 3(1), 10-30.
- Buendia, B., Gil, M. I., Tudela, J. A., Gady, A. L., Medina, J. J., Soria, C., & Tomás-Barberán, F. A. (2010). HPLC-MS analysis of proanthocyanidin oligomers and other phenolics in 15 strawberry cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(7), 3916-3926.
- Capello, C., Fischer, U., & Hungerbühler, K. (2007). What is a green solvent? A comprehensive framework for the environmental assessment of solvents. *Green Chemistry*, 9(9), 927-934.
- Castro-López, C., Bautista-Hernández, I., González-Hernández, M. D., Martínez-Ávila, G. C., Rojas, R., Gutiérrez-Díez, A., & Aguirre-Arzola, V. E. (2019). Polyphenolic profile and antioxidant activity of leaf purified hydroalcoholic extracts from seven Mexican *Persea americana* cultivars. *Molecules*, 24(1), 173.
- Floriano-Sánchez, E., Villanueva, C., Medina-Campos, O. N., Rocha, D., Sanchez-González, D. J., Cardenas-Rodríguez, N., & Pedraza-Chaverri, J. (2006). Nordihydroguaiaretic acid is a potent in vitro scavenger of peroxyxynitrite, singlet oxygen, hydroxyl radical, superoxide anion and hypochlorous acid and prevents in vivo ozone-induced tyrosine nitration in lungs. *Free Radical Research*, 523-533.
- Häckl, K., & Kunz, W. (2018). Some aspects of green solvents. *Comptes Rendus Chimie*, 21(6), 572-580.
- Leitner, W. (2007). Green solvents for processes. *Green Chem*, 9(923), 923.
- Martínez-Ávila, G. C., Aguilera-Carbó, A. F., Rodríguez-Herrera, R., & Aguilar, C. N. (2011). Fungal enhancement of the antioxidant properties of grape waste. *Annals of microbiology*, 62(3), 923-930.
- Manzanero-Medina, G. I., Flores-Martínez, A., Sandoval-Zapotitla, E., & Bye-Boettler, R. (2009). Etnobotánica de siete raíces medicinales en el Mercado de Sonora de la ciudad de México. *Polibotánica*, (27), 191-228.
- Martínez, N., Almaguer, G., Vázquez-Alvarado, P., Figueroa, A., Zúñiga, C., & Hernández-Ceruelos, A. (2014). Análisis fitoquímico de *Jatropha dioica* y determinación de su efecto antioxidante y quimioprotector sobre el potencial genotóxico de ciclofosfamida, daunorrubicina y metilmetanosulfonato evaluado mediante el ensayo cometa. *Boletín*



- Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas, 13(5), 437-457.
- Mata-González, R., & Meléndez-González, R. (2005). Growth characteristics of Mexican oregano (*Lippia berlandieri* Schauer) under salt stress. *The Southwestern Naturalist*, 1-6.
 - Moreau, R. A., Harron, A. F., Hoyt, J. L., Powell, M. J., & Hums, M. E. (2018). Analysis of wax esters in seven commercial waxes using C30 reverse phase HPLC. *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies*, 41(10), 604-611.
 - Ochoa-Reyes, E., Saucedo-Pompa, S., de la Garza, H., Martínez, D. G., Rodríguez, R., & Aguilar-Gonzalez, C. N. (2010). Extracción tradicional de cera de *Euphorbia antysiphilitica*. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 2(3), 1-13.
 - Ochoa, E., Saucedo-Pompa, S., Rojas-Molina, R., Garza, H. D. L., Charles-Rodríguez, A. V., & Aguilar, C. N. (2011). Evaluation of a candelilla wax-based edible coating to prolong the shelf-life quality and safety of apples. *American journal of agricultural and biological sciences*, 6(1), 92-98.
 - Olvera-Novoa, M. A., Martínez-Palacios, C. A., & Real-de León, E. (1993). Manual de técnicas para laboratorio de nutrición de peces y crustáceos. FAO.
 - Padmaja, K. V., Atheya, N., & Bhatnagar, A. K. (2009). Upgrading of Candelilla biocrude to hydrocarbon fuels by fluid catalytic cracking. *Biomass and Bioenergy*, 33(12), 1664-1669.
 - Peralta, I., Marrassini, C., Filip, R., Alonso, M. R., & Anesini, C. (2018). Food preservation by *Larrea divaricata* extract: participation of polyphenols. *Food science & nutrition*, 6(5), 1269-1275.
 - Rahmani, A. H. (2015). *Cassia fistula* Linn: Potential candidate in the health management. *Pharmacognosy research*, 7(3), 217.
 - Rajagopal, P. L., Premaletha, K., Kiron, S. S., & Sreejith, K. R. (2013). PHYTOCHEMICAL AND PHARMACOLOGICAL REVIEW ON CASSIA FISTULA LINN.-" THE GOLDEN SHOWER". *International Journal of Pharmaceutical, Chemical & Biological Sciences*, 3(3).
 - Rivero-Cruz, I., Duarte, G., Navarrete, A., Bye, R., Linares, E., & Mata, R. (2011). Chemical composition and antimicrobial and spasmolytic properties of *Poliomintha longiflora* and *Lippia graveolens* essential oils. *Journal of food science*, 76(2), C309-C317.
 - Rojas Molina, R., Saucedo Pompa, S., De León Zapata, M. A., Jasso Cantú, D., & Aguilar, C. N. (2011). Pasado, presente y futuro de la candelilla. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 2(6), 7-18.
 - Safaei-Ghomi, J., Ebrahimabadi, A. H., Djafari-Bidgoli, Z., & Batooli, H. (2009). GC/MS analysis and in vitro antioxidant activity of essential oil and methanol extracts of *Thymus caramanicus* Jalas and its main constituent carvacrol. *Food Chemistry*, 115(4), 1524-1528.
 - Saldívar, R. H. L. (2003). Estado actual del conocimiento sobre las propiedades biocidas de la gobernadora [*Larrea tridentata* (DC) Coville]. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 21(2), 214-222.
 - Saldívar, R. H. L., García, G. F. B., Castillo, F. D. H., Alvarado, R. G., de Rodríguez, D. J., & Díaz, F. J. (2003a). Evaluation of resin content and the antifungal effect of *Larrea tridentata* (Sesse and Moc. Ex DC) Coville extracts from two mexican deserts against *Pythium* sp. Pringsh.



- Revista Mexicana de Fitopatología, 21(2), 97-101.
- Scora, G. A., Ahmed, M., & Scora, R. W. (1995). Epicuticular hydrocarbons of candelilla (*Euphorbia antisiphylitica*) from three different geographical areas. *Industrial crops and products*, 4(3), 179-184.
 - Seeram, N. P., Adams, L. S., Henning, S. M., Niu, Y., Zhang, Y., Nair, M. G., & Heber, D. (2005). In vitro antiproliferative, apoptotic and antioxidant activities of punicalagin, ellagic acid and a total pomegranate tannin extract are enhanced in combination with other polyphenols as found in pomegranate juice. *The Journal of nutritional biochemistry*, 16(6), 360-367.
 - Toro-Vazquez, J. F., Charó-Alonso, M. A., Pérez-Martínez, J. D., & Morales-Rueda, J. A. (2011). Candelilla wax as an organogelator for vegetable oils—an alternative to develop trans-free products for the food industry. In *Edible Oleogels* (pp. 119-148). AOCS Press.
 - Villarreal, A. M., Dominguez, X. A., Williams, H. J., Scott, A. I., & Reibenspies, J. (1988). Citlaltirione, a new diterpene from *Jatropha dioica* var. *sessiliflora*. *Journal of natural products*, 51(4), 749-753.
 - Wong-Paz, J. E., Contreras-Esquivel, J. C., Rodríguez-Herrera, R., Carrillo-Inungaray, M. L., López, L. I., Nevárez-Moorillón, G. V., & Aguilar, C. N. (2015). Total phenolic content, in vitro antioxidant activity and chemical composition of plant extracts from semiarid Mexican region. *Asian Pacific journal of tropical medicine*, 8(2), 104-111.



Exploración de razas de maíz (*Zea mays*) en búsqueda de diferentes citoplasmas para el uso en mejoramiento genético y programas de formación de híbridos.

Reynaldo Alfredo Domínguez-Gándara¹, Francisco Zavala-García¹, Sugey Ramona Sinagawa-García¹, Adriana Gutiérrez-Diez¹, Juan Manuel Hernandez-Casillas²

¹Facultad de Agronomía, UANL. Av. Francisco Villa S/N, Col. Ex Hacienda el Canadá, tel. (81) 1340 4399.

²INIFAP- Campo Experimental Valle de México. Carretera Los Reyes-Textcoco Km. 13.5, CP 56250 San Miguel Coatlinchán, Tel. (5538718700).
Email: RDOMINGUEZGR@uanl.edu.mx

Resumen: En la actualidad uno de los mayores problemas que se presentan en la hibridación de maíz en México es colocar genes que le ayuden a la productividad. Existen algunas razas que en forma particular contribuyen con características deseables que se transmiten vía sexual en el cruzamiento, pero existen otros caracteres que pueden heredarse solamente vía materna. En México se tienen más de 60 razas nativas que poco se han explorado a nivel citoplasmático, la identificación de estas razas que representan la diversidad de este cultivo en México y particularmente las adaptables a zonas bajas, se pudieran utilizar en la producción de híbridos con adaptación a estos ambientes. El análisis de los citoplasmas permitiría verificar la aportación de caracteres que puedan ser útiles para el mejoramiento genético y particularmente a la formación de híbridos que regularmente se utilizan en siembras de zonas de altos insumos.

Palabras clave: Hibridación, genes, progenitores, razas, citoplasmas.

Abstract: Today, one of the biggest problems with corn hybridization in Mexico is placing genes to help productivity. There are some races that in particular contribute desirable characteristics that are transmitted sexually in crossbreeding, but there are other characteristics that can be inherited only through motherhood. In Mexico there are more than 60 native breeds that have little been explored at the cytoplasmic level, the identification of these breeds that represent the diversity of this crop in Mexico and particularly those adaptable to low areas, could be used in the production of hybrids adapted to these environments. Cytoplasm analysis would verify the input of characteristics that may be useful for genetic improvement and particularly to the formation of hybrids that are regularly used in plantings in high-input areas.

Keywords: Hybridization, genes, progenitors, races, cytoplasm.

Introducción

Hoy en día, el maíz es el segundo cultivo en importancia a nivel mundial por su producción y usos, pues sirve de alimento

para humanos, ganado y también en la industria de alimentos (Paliwal, Granados, Lafitte & Violic, 2001)

Botánicamente, el maíz (*Zea mays*) pertenece a la familia de las gramíneas y es una planta anual alta, dotada de un



sistema radicular fibroso. Se trata de una especie que se reproduce por polinización cruzada; la flor femenina (jilote) y la masculina (espiga) (FAO, 1993)

Con el maíz se produce almidón, aceite, proteínas, bebidas alcohólicas, alimentos para mascotas, edulcorantes alimenticios, y combustible, entre otros. Asimismo, su uso como forraje, ha permitido el desarrollo de las industrias lácteas y cárnicas (CIMA, 2020).

A nivel mundial, existen países con producción de maíz muy elevada, como por ejemplo; Estados Unidos es el principal productor de maíz, seguido de China, con una participación de 31.3% y 23.5%, respectivamente, y en tercer lugar Brasil, que contribuye con 9.1%. México ocupa el 8vo lugar en producción de maíz (CIMA, 2020). En el caso de Estados Unidos de Norteamérica, los principales estados productores de maíz son: Iowa, Illinois, Nebraska y Minnesota (USDA, 2019).

Se considera a México como centro de origen, diversidad y domesticación de al menos 64 razas nativas de maíz, originadas a través de la selección por los agricultores, lo que representa aproximadamente el 29% de las razas registradas en América (CONABIO, 2016). La superficie sembrada de maíz en nuestro país en el 2018-2019 tuvo un promedio de 7.4 millones de hectáreas (ha) y una producción promedio de 27.7 millones de toneladas (ton) en el mismo periodo. El principal ciclo productivo en México es el Primavera-Verano (P-V) con un 83% del total. La superficie de siembra en el P-V es del 86% en condiciones de temporal y el 14% en riego; sin embargo, en el ciclo Otoño-Invierno (O-I) sucede lo contrario al tener un 62% bajo condiciones de riego y 38% en temporal. La superficie respectiva para los ciclos agrícolas es de 6.3 millones de ha y 1.1 millones de ha en promedio en los últimos 10 años (CIMA 2020). Específicamente en 2017, la

superficie sembrada de maíz en el territorio nacional fue de 8 millones de ha., de las cuales el 77.5% de los productores utilizó semilla criolla y el resto fue semilla híbrida mejorada o certificada; el rendimiento obtenido fue de 31 millones de ton. de grano (INEGI, 2018). Por otra parte el CDRSSA (2018) reportó que en el 2015 fueron sembradas 7.6 millones de ha. de las cuales 4.2 eran de semilla híbrida mejorada y el resto de semilla criolla. Para el estado de Nuevo León, en el 2018, la superficie sembrada de maíz fue de 104,509 ha., de los cuales 45,048 ha fueron maíces híbridos y 59,461 ha a maíces criollos con un rendimiento promedio de 7.6 ton. ha⁻¹ y 2.9 ton. ha⁻¹, respectivamente (SIAP 2018).

Con base a lo anterior se demuestra la importancia que tienen los híbridos en la producción de maíz a nivel nacional y estatal.

Un **híbrido** es resultado de un cruzamiento entre individuos; específicamente en maíz es el resultado del cruzamiento entre individuos que representan a poblaciones que generalmente no están emparentados y tienen características deseables y complementarias. Algunas características que se buscan con esta técnica son: incrementos en el rendimiento de grano y en la composición del **grano**, tolerancia a plagas y enfermedades, entre otras. La planta que produce la semilla híbrida se denomina hembra y la planta que aporta el polen se denomina macho, la semilla resultante se conoce como Filial 1 (F1); existen diferentes tipos de híbridos (F1) dependiendo del tipo de cruzamiento utilizado, ya que puede haber el cruzamiento simple (involucra dos progenitores), cruzamiento doble (utiliza cuatro progenitores) y cruzamiento de tres líneas (utiliza tres progenitores). Independientemente del tipo de cruzamiento, en la formación de la semilla híbrida, la hembra contribuye, además de



los genes nucleares, con el citoplasma, en comparación con el macho que contribuye únicamente en los genes del núcleo. Esta particularidad de herencia citoplasmática por parte de la hembra es importante debido a que en ella se encuentran organelos como cloroplastos y mitocondrias que posee información genética que puede influir en la expresión de caracteres de importancia agronómica en la descendencia. Un claro ejemplo es la esterilidad citoplásmica masculina que representa un rasgo hereditario materno y puede participar en la susceptibilidad en *Bipolaris maydis* del maíz (Pring & Levings, 1977).

Actualmente se han identificado dos tipos de citoplasma que son el CMS (cytoplasmic male sterile) el cual su efecto principal es la esterilidad masculina en la progenie, y el T (Texas) que se identifica por la susceptibilidad a enfermedades fungosas.

Se han notificado efectos recíprocos para muchos rasgos cuantitativos del maíz. El citoplasma parece desempeñar un papel importante en la causa de tales diferencias como la resistencia a *Aspergillus flavus* (Zhang et al., 2016)

Debido a la importancia que tiene el citoplasma en la expresión de características agronómicas importantes en la progenie y como solo existen dos tipos de citoplasmas encontrados a la fecha, es importante buscar otras opciones dentro de variabilidad genética del maíz existente en México, por la importancia de efectos citoplasmáticos que pudieran ayudar a identificar combinaciones que expresen mejores características en los híbridos y que puedan ayudar a la progenie en expresar características agronómicas deseables. Una forma de poder identificar este tipo de efectos maternos es a través de cruces recíprocos donde los progenitores involucrados en la formación del híbrido, participan primero como progenitor

hembra y después como progenitor macho a través de un esquema dialélico. En el mejoramiento genético de plantas, la utilización de fuentes de germoplasma de amplia variabilidad, el patrón heterótico contrastante, así como el conocimiento de su aptitud combinatoria, es esencial para lograr avances significativos en el proceso de generación de nuevas variedades (Andrio et al., 2015). La capacidad de un individuo o población para combinarse con otros a través de su progenie se define como aptitud combinatoria (Coutiño et al., 2010). Poehlman y Allen (2003) quien es citado por Andrio et al. (2015) lo denominaron como el comportamiento medio de una determinada línea parental en una serie de combinaciones híbridas como aptitud combinatoria general. En este sentido Sámano et al. (2009), definieron a la aptitud combinatoria general como el desempeño promedio de una línea en sus combinaciones híbridas, mientras que la aptitud combinatoria específica (ACE) separa las combinaciones híbridas que resulten mejor o peor de lo esperado, en relación con la media de la aptitud combinatoria general (ACG) de los parentales.

Debido a la importancia que tiene la herencia materna, a la poca disponibilidad de tipos de citoplasmas identificados y a la gran diversidad genética de maíz existente en nuestro país, es que se plantea este trabajo con los siguientes objetivos:

Objetivo General

Explorar una colección de maíces nativos con adaptación al trópico seco y zonas bajas que representen la mayor cantidad de razas posibles en la búsqueda de diferentes tipos de citoplasma, y que permitan una mejor combinación genética en el proceso de formación de híbridos.

Objetivos específicos



- Determinar efectos maternos en las poblaciones utilizadas
- Realizar un análisis genético o molecular de los citoplasmas incluidos en el estudio.
- Estimar Efectos de Aptitud Combinatoria General y Específica.

Hipótesis

Dentro de la variación genética en maíz representada por las distintas razas identificadas, existe la posibilidad de encontrar otros tipos de citoplasma que pudieran ser importantes para ser utilizados en mejoramiento genético y en la formación de híbridos de maíz en México.

Materiales y Métodos

Se utilizará una colección de maíces nativos, representando a 14 razas con adaptación a altura menores a los 900 msnmm, esto con la finalidad de poder realizar el trabajo enfocado a las zonas de influencia de la Facultad de Agronomía UANL en Marín N.L. con una altura promedio de 400 msnmm.

Las razas a utilizar son:

- Nan-tel
- Harinoso de ocho
- Reventador
- Tabloncillo
- Tehua
- Tepecintle
- Zapalote grande
- Zapalote chico
- Olotillo
- Tuxpeño (Amarillo)
- Vandeño
- Conejo (Liebre)
- Maiz blando de Sonora
- Onaveño

Metodología en campo:

Ciclo Primavera-Verano 2020. En la primera fase iniciando el 20 de julio se sembrarán los genotipos antes mencionados en charolas de germinación para asegurar la plántula, posterior a esto se realizará el trasplante a campo de la siguiente manera: 6 surcos de 5 metros de largo, con 80 cm de distancia entre surcos y de 20 cm entre plantas por cada genotipo. Se obtendrán un total de 150 plantas por cada genotipo con la finalidad de realizar todos los cruzamientos considerados, de acuerdo a un dialélico completo incluyendo cruza directa y recíprocas (Cuadro 1). Debido a la falta de información en relación a los días a floración masculina y femenina de los materiales, existe la posibilidad de que algunos cruzamientos no se logren, debido a la falta de coincidencia en la floración.

Durante el desarrollo vegetativo de las plantas se realizarán riegos, aplicación de fertilizantes, herbicidas e insecticidas. Con la finalidad de tener plantas con buen desarrollo y lograr los cruzamientos buscados con buena cantidad de semilla para las evaluaciones posteriores.

Una vez que las plantas se encuentren en la primera etapa de reproducción (R1) de acuerdo a la clasificación en etapas de desarrollo del maíz que dio a conocer la Universidad de Iowa de Ciencias y Tecnología en 1986, se procederá a cubrir los jilotes antes de la emisión de los estigmas, con bolsas de papel glacyne. Una vez listos los estigmas para la recepción del polen, se procederá a la colecta del mismo con bolsas de papel para hacer los cruzamientos de manera controlada.

En los casos donde haya la coincidencia en la floración, se realizarán de tres a cinco cruza por tipo de cruzamiento, tanto directos como recíprocos, con la finalidad de contar con semilla suficiente para el siguiente ciclo agrícola de evaluación.



Diariamente por las mañanas se realizarán las cruza entre los genotipos, llevando el polen de los machos a los estigmas de las plantas hembra, así como también la cruz recíproca, hasta tener el total de las cruza. Posterior a esto se seguirá dando mantenimiento de riegos, y control de plagas durante el ciclo y después esperaremos a la cosecha para recolectar las semillas producto del cruzamiento directo y recíproco. Las semillas deberán estar correctamente etiquetadas y se almacenarán en un lugar fresco y seco (Banco de Germoplasma).

Ciclo Otoño-Invierno 2020-2021. La siembra de las progenies de los cruzamientos realizados en el ciclo anterior se realizará en charola de germinación y posteriormente se trasplantará en campo bajo un diseño estadístico de parcelas divididas, en donde la parcela grande será el cruzamiento y en parcela chica se utilizará para el tipo de cruz (directa y recíproca). Las parcelas o unidades experimentales serán de dos surcos de 5 m de largo, 0.8 m entre surcos y 0.2 m entre plantas, con cuatro repeticiones.

La evaluación a nivel de campo llevará un manejo agronómico correspondiente como riegos, fertilizaciones, aplicación de herbicidas e insecticidas para mostrar su mejor potencial en campo y anotando los aspectos agronómicos de cada una de las progenies como:

Altura de la planta (cm), midiendo con un estadal desde la base de la planta pegada al suelo hasta la punta de la espiga.

Días a floración masculina (días), la unidad a utilizar será en días y se tomará en cuenta cuando el 50% de las plantas presenten espiga.

Días a floración femenina (días), se tomará el dato en días cuando el 50% de las plantas presenten estigmas.

Longitud de la mazorca (cm), con una regla graduada en centímetros se tomará

la medida de la base a la punta de la mazorca

Numero de hileras y granos por hilera, se contarán el número total de granos en una hilera y número de hileras en la mazorca. Diámetro de la mazorca (cm), se tomará la medida con un vernier en la media de mazorca.

Rendimiento, se realizará la estimación del rendimiento en proporción de la superficie sembrada y se estimará en Ton ha⁻¹.

A la par con el desarrollo del cultivo F1 se estará llevando a cabo en laboratorio el análisis de citoplasma por el método que presentan Morales et al. (2016), ya que en él mencionan la reducción de costos y el uso de menor material vegetal en comparación como lo proponen Raya et al. (2014), Hernández et al. (2011), y Morales et al. (2016), además aseguran tener una mayor eficiencia en los resultados.

El aspecto distintivo del método de Morales et al. (2016) es la reducción en reactivos y tamaño de muestra; el ADN extraído de cloroplasto y mitocondria con esta técnica muestra una calidad aceptable.



Cuadro 1. Cuadro dialéctico que muestra los cruzamientos directos y recíprocos.

	Nan-tel	Harinoso de ocho	Reventador	Tabloncillo	Tehua	Tepecintle	Zap. Gde.	Zap. chico	Olotillo	Tuxpeño	Vandeño	Conejo	M. blando de Son.	Onaveño
Nan-tel														
Harinoso de ocho														
Reventador														
Tabloncillo														
Tehua														
Tepecintle														
Zapalote grande														
Zapalote chico														
Olotillo														
Tuxpeño														
Vandeño														
Conejo														
Maiz blando de Sonora														
Onaveño														

Los costos de los materiales a utilizar se describen a continuación:

Concepto	Unidades	Costo Total
Traslado de semillas	6	3,200
Combustible tractor	200 lts	5,000
Agroquímicos		10,000
Bolsas papel	7,000	2,000
Grapadoras y grapas	5	500
Plumon Sharpie	5	150
Charola de germinación	20	5,000
Fertilizante Gallinaza	1 ton	5,000
Reactivos P/laboratorio	50	15,000

Cronograma de actividades

Actividad	2020												2021											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Revisión de Bibliografía	X	X	X	X	X			X	X	X	X		X	X	X	X			X	X	X	X		
Entrega de anteproyecto					X																			
Presentación de seminario						X																		
Colecta de semillas					X	X																		
Siembra de materiales							X						X											



Analysys of four maize traits and a modified heterosis hypothesis.

Siqueiros, C. T., Rivera, C. B., Nevarez, M. G., Rascón, G. Q. (2011). Método para la extracción de ADN cloroplastídico de *Bouteloua gracilis* como herramienta para aplicaciones moleculares.

(INEGI 2018) Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Encuesta Nacional Agropecuaria. Julio 2018.

Iowa University of Science and Tecnology (1986). How a corn plant develops. Special report No.48.

Morales, G. M., Gutiérrez, E. M., Santacruz, V. A., Ramírez, R. I., Pérez, G. M., González, H. V. (2016). Microtécnica de enriquecimiento y extracción de ADN de cloroplastos y mitocondrias.

Paliwal, R.L., Granados, G., Lafitte, H.R., Violic, A. D. (2001). El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción.

Pring, D. R., Levings, C. S.,(1977). Heterogeneity of maize cytoplasmic genomes among male-sterile cytoplasms.

Sámano, G. D., Rincón, S. F., Ruiz T. N., Espinoza V. J., De León. C. H. (2009). Efectos genéticos en cruza directas y recíprocas formadas a partir de líneas de dos grupos germoplásmicos de maíz.

Raya, L., Landi, V., Garrido, J.J., Reyes, J. (2014). Extracción de ADN mitocondrial de distintas especies de la familia *formicidae* pertenecientes al género *camponotus* para su posterior secuenciación y estudio.

(SIAP 2018) Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Uso de semilla mejorada y criolla En la superficie sembrada por entidad federativa. 2018

(USDA 2019) United State Departament of Agriculture. Crop Production 2018 Summary. Febrero 2019.

Zhang, Y. D., Fan, M. X., Yao, W., Piepho, H. P., Kang, M. S. (2016) Diallel



SEMESTRE II

Búsqueda de organismos benéficos para control biológico de *Diaphorina citri* en Nuevo León, México

Daniel Moreno-Arredondo¹, Adriana Gutiérrez-Díez¹; Reyna Ivonne Torres-Acosta²; Salvador Ochoa-Ascencios³; Francisco Zavala-García¹.

¹Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Agronomía. Francisco Villa S/N Col. Ex Hacienda El Canadá, Gral. Escobedo, Nuevo León.

²Universidad Autónoma de Tamaulipas. Unidad Académica Multidisciplinaria Mante. Blvd. Enrique Cárdenas González #1201 Pte. Mante, Tamaulipas.

³Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Agrobiología. Paseo Lázaro Cárdenas 2290, Emiliano Zapata, Melchor Ocampo, 60170 Uruapan, Michoacán.

E-mail: daniel.morenoar@uanl.edu.mx

Resumen: El HLB causada por *Candidatus Liberibacter* spp. es la enfermedad de los cítricos más importante a nivel mundial. La enfermedad se registró en Nuevo León en el 2016 en huertas comerciales de Linares y General Terán. El agente casual es transmitido por el psílido *Diaphorina citri*, que se encuentra presente en México desde 2002 y en Nuevo León desde 2003. El manejo de *D. citri* se ha realizado mediante control biológico, químico y cultural. En Nuevo León no se tiene información sobre la presencia de enemigos naturales que puedan afectar las poblaciones de este psílido. En el presente trabajo se realizó la búsqueda de posibles enemigos naturales en una huerta comercial de Linares y Hualahuises logrando coleccionar ejemplares de *Coleomegilla maculata*, *Cycloneda sanguinea*, *Hippodamia convergens*, *Olla v-nigrum*, los cuales han sido reportados en otros estados como enemigos naturales y posibles agentes para control biológico de *D. citri*.

Palabras clave: Cítricos, HLB, *Candidatus Liberibacter*, *Diaphorina citri*, enemigos naturales.

Abstract: HLB is the most important disease worldwide in citrus, caused by the causal agent *Candidatus Liberibacter* spp., which is transmitted by the psyllid vector *Diaphorina citri*, which has been present in Mexico since 2002 and in Nuevo León since 2003. The disease was registered in Nuevo León in 2016 in commercial orchards in Linares and General Terán. Vector management has been carried out through biological, chemical and cultural control. As there was no information about the natural enemies in Nuevo León, a search was made of these in an orchard of Linares and Hualahuises in which specimens of the genera *Coleomegilla maculata*, *Cycloneda sanguinea*, *Hippodamia convergens*, *Olla v-nigrum* were collected, which have been reported in other states as natural enemies and possible agents for biological control of *D. citri*.

Keywords: Citrics, HLB, *Candidatus Liberibacter*, *Diaphorina citri*, natural enemies.

Introducción

Nuevo León ocupa el 4° lugar en producción nacional de cítricos, aportando

el 7% de la producción nacional con 350 mil toneladas en promedio anual. La región citrícola del Estado abarca seis municipios: Montemorelos, General Terán,



Linaires, Cadereyta, Hualahuises y Allende los cuales cuentan con el 99% de la superficie de cítricos de Nuevo León (CDANL, 2015).

Uno de los principales problemas que presentan los cultivos de cítricos son las enfermedades como psorosis, exocortis, cachexia y tristeza, las cuales son ocasionadas por virus o viroides; algunas otras son de etiología desconocida como el amachamiento, mientras que otras son causadas por bacterias como el cáncer de los cítricos, stubborn, clorosis variegada y Huanglongbing (HLB) o dragón amarillo (González, 2007).

El HLB es una enfermedad asociada a la bacteria *Candidatus Liberibacter asiaticus* la cual fue detectada por primera vez en 2005 en el municipio de Araraquara, Brasil (Bové, 2012). En México la bacteria se detectó por primera vez en 2009 en el estado de Yucatán (SENASICA, 2019a). Esta enfermedad ocasiona síntomas en las hojas como puntos cloróticos, manchas angulares (Figura 1), acorchamiento, engrosamiento de nervaduras, moteados y clorosis difusa hasta que el amarillamiento en la lámina foliar es generalizado y ocurre la defoliación. En los frutos se observa la maduración irregular (Figura 2) y su desarrollo asimétrico (SENASICA, 2019a).



Figura 1. Mancha angular en las hojas del naranjo. Fuente: Presentación del Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Nuevo León.

La dispersión de esta enfermedad se debe principalmente a dos insectos vectores, *Trioza erytreae* con presencia en África y *Diaphorina citri* con presencia en Asia, este último vector fue reportado en México desde el año 2002 (SENASICA, 2019b). El insecto ha sido reportado en las zonas de producción citrícola, así como en zonas urbanas, en plantas de ornamento como limonaria, mirto y jazmín de la India (Martínez, 2010).



Figura 2. Fruto de naranja Valencia con síntomas de HLB. Fuente: Daniel Moreno Arredondo.

Diaphorina citri es un psílido del orden de los hemípteros (Figura 3). Su ciclo de vida (huevo-ninfa-adulto) varía entre 15 a 47 días dependiendo de la temperatura. Se alimenta de los tejidos tiernos de las plantas en una posición inclinada con la cabeza pegada al sustrato y el cuerpo levantado lo cual es una característica para su identificación. Tiene una alta fecundidad ya que la hembra puede llegar a poner 800 huevos durante su ciclo de vida. Los adultos vuelan distancias cortas y por lo general su mayor movimiento es dentro de la planta hospedera, pero esto puede cambiar si son atrapados por



corrientes de aire lo cual llega a incrementar la distancia que pueden recorrer (Martínez, 2010).

Para el manejo de este vector se ha empleado control biológico, químico y cultural (SENASICA, 2019b). En el control químico se han evaluado productos como dimetoato, imidacloprid y betaciflutrina que son los que mejor control han ejercido sobre el insecto (Hernández-Fuentes *et al.*, 2018). En cuanto al control biológico se destaca el ectoparásito *Tamarixia radiata* (Waterston) (Hymenoptera: Eulophidae), el cual parasita a la ninfa de *D. citri* por lo que se ha vuelto el parasitoide más estudiado (Kondo y Guzmán, 2017).



Figura 3. Insecto vector *Diaphorina citri*. Fuente: David Hall. USDA-ARS. Bugwood.org.

En estudios realizados en los estados de Yucatán (Lozano y Jasso, 2012), Sinaloa (Cortez *et al.*, 2011) y Nayarit (Rodríguez *et al.*, 2012), se buscaron enemigos naturales para *D. citri* así como las densidades en que se encontraban, sin embargo no fueron evaluados los índices de depredación. Palomares *et al.* (2016) evaluaron a *Exochomus marginipennis*, una especie de coccinélido como opción de control biológico en diferentes estadios de *D. citri*, los resultados obtenidos sustentan la capacidad de depredación sobre esta plaga y la posibilidad de

incluirse en programas de control biológico. Por otra parte, Cortez-Mondaca *et al.* (2016) evaluaron la capacidad de depredación de huevo y ninfas de *D. citri* de diferentes especies de Chrysopidae encontrando que *Chrysoperla comanche* es una opción para el control biológico de la plaga en el estado de Sinaloa.

En Nuevo León no existe información oficial sobre la búsqueda de enemigos naturales del vector de *Candidatus Liberibacter spp.*, así como de sus índices de depredación. Debido a esto y a la importancia de la enfermedad para la producción de cítricos en el Estado, se plantea como hipótesis que en el área citrícola de Nuevo León existen enemigos naturales de *Diaphorina citri* capaces de reducir su población y por tanto ser utilizados como opción de control biológico.

Para probar esta hipótesis se definió como objetivo general, analizar la diversidad de enemigos naturales de *Diaphorina citri* presentes en huertas de la región citrícola de Nuevo León con reportes positivos de la enfermedad de Huanglongbing, para proponer su utilización como organismos de control biológico. Como objetivos específicos se definieron los siguientes: 1) identificar la diversidad de insectos depredadores de *D. citri* presentes en la región citrícola de Nuevo León y su relación con las condiciones de manejo y conservación de la huerta, 2) identificar la diversidad de otros organismos depredadores o parasitoides de *D. citri* y su relación con las condiciones de manejo y conservación de la huerta, y 3) determinar los índices de los potenciales enemigos naturales encontrados sobre poblaciones de *D. citri* bajo condiciones controladas.

Materiales y Métodos



Área de estudio. El estudio se realiza en huertas de cítricos localizadas en los municipios de, Montemorelos, Linares (Huerta 1) y Hualahuises (Huerta 2), los cuales están dentro de lo que se conoce como Región Citrícola del estado de Nuevo León. El criterio de selección para las huertas fue que contaran con reportes de presencia de *D. citri* y/o HLB. Cada huerta será geo referenciada y se obtuvieron datos de humedad relativa, temperatura ambiente, precipitación y velocidad del viento durante el periodo de muestreo para determinar la dinámica poblacional de los organismos benéficos. Se llevará el registro de las prácticas de mantenimiento de cada huerta (riegos, podas, fertilización, fumigación, control de maleza) para posteriormente establecer su relación con las poblaciones de insectos colectadas e identificadas.

La Región Citrícola de Nuevo León se encuentra ubicada en dos provincias fisiográficas: las llanuras costeras del Golfo Norte y la otra corresponde por su parte poniente con la Sierra Madre Oriental; la altura sobre el nivel del mar de los municipios cítricos varía entre los 300 y 430 m. Cuenta con temperaturas semicálidas subhúmedas con valores que van desde los 18 °C y 22 °C, con una oscilación de 7 °C y 14 °C; la precipitación anual varía entre 600 y 900 mm, presentando años críticos con precipitaciones entre 400 y 600 mm y en otros años rebasando los 900 mm. Su hidrografía está formada por los ríos Pílon, Potosí, San Juan y Conchos (López *et al.*, 2014).

Colecta y muestreo. De acuerdo con el calendario de actividades, los muestreos se realizarían cada 15 días, sin embargo, debido a la contingencia presentada, los muestreos se están realizando de acuerdo con la disponibilidad sugerida por los productores cooperantes. Las colectas se

llevan a cabo en horario entre las 7:00 y las 12:00 horas. Se realiza una inspección visual de los árboles seleccionados en cada uno de los puntos cardinales, de esta forma se busca la presencia de enemigos naturales de *D. citri*. En caso de presencia de insectos se procede a su colecta con ayuda de un aspirador bucal y una red entomológica para posteriormente ser colocados en frascos de plástico de 110 ml con alcohol etílico al 70% para almacenamiento, traslado y posterior identificación en laboratorio. La identificación de las especies colectadas se realizará con el apoyo de las claves entomológicas de Triplehorn y Johnson (2005) y de claves específicas de acuerdo con la familia, en el caso de coccinélidos su utilizará las claves de Gordon (1985). Por el momento la identificación se realiza con el apoyo de una lupa entomológica con aumento de 60X.

Se realizarán colectas de insectos depredadores vivos con la finalidad de obtener crías que serán utilizadas para medir el nivel de depredación de los ejemplares más representativos siguiendo la metodología de González *et al.* (2012), se colocarán ejemplares adultos del depredador en una caja Petri con 10 ninfas del quinto estadio de *D. citri* para registrar el número de ninfas consumidas cada 60 minutos hasta que se consuma el total de las ninfas. Para la obtención de crías de *D. citri* se utilizarán árboles de limón mexicano los cuales serán colocados dentro de jaulas entomológicas de 0.6 x 0.6 x 1.8 m.

Análisis estadístico. Para medir el índice de diversidad de los depredadores en cada una de las huertas se utilizará el índice de Shannon-Wiener (Cortez *et al.*, 2011). El índice de depredación de los enemigos naturales sobre *D. citri* se realizará con un análisis de varianza no paramétrica de Kruskal Wallis (González *et al.*, 2012).



Resultados y Discusión

A la fecha se han realizado seis muestreos sólo en los municipios de Linares y Hualahuises, en huertas de productores cooperantes (una huerta por municipio). La ubicación geográfica de las huertas son 24.766681, -99.521209 en el caso de la huerta de Linares y, 24.895083, -99.672052, en el caso de la huerta de Hualahuises. Las colectas se han llevado a cabo durante los meses de marzo y mayo del presente año. Los ejemplares obtenidos corresponden a coccinélidos reportados como enemigos naturales de *D citri*.

Durante el recorrido por las huertas, se realizan inspecciones visuales principalmente en brotes (debido a que es donde suele encontrarse el psílido) de árboles que son seleccionados al azar. En el Cuadro 1 se reportan los géneros de los especímenes colectados al 9 de mayo del presente año.

Cuadro 1. Géneros y especies de la familia Coccinellidae colectados en huertas de cítricos de Linares y Hualahuises, N.L.

Especies	No.ejemplares	Huerta
<i>Coleomegilla maculata</i>	4	H2
<i>Cycloneda sanguinea</i>	12	H2
<i>Hippodamia convergens</i>	29	H2
<i>Olla v-nigrum</i>	2	H1
Sin Identificar	5	H1, H2

H1: Linares, H2: Hualahuises

Se han obtenido hasta la fecha un total de 52 individuos de la familia Coccinellidae, de los cuales se han identificado cuatro especies, *Coleomegilla maculata*, *Cycloneda sanguinea*, *Hippodamia convergens*, y *Olla v-nigrum*,

permaneciendo cinco ejemplares sin identificación. En Linares se colectaron dos ejemplares de *O. v-nigrum* (Figura 4) y dos ejemplares que permanecen sin identificar.



Figura 4. *Olla v-nigrum* alimentándose de ninfas de *Diaphorina citri* sobre un brote de naranjo. Fuente: DMA.

Como se observa en el Cuadro 1, la mayor cantidad de ejemplares han sido colectados en la huerta ubicada en Hualahuises, uno de los factores que puede estar influyendo en la incidencia de esta especie es la presencia de vegetación en las calles de las huertas. En el caso de la huerta de Linares las calles son amplias y dentro de sus prácticas de mantenimiento periódicas se encuentra el deshierbe, por lo que solo es posible encontrar hierba (pastos y dicotiledóneas) solo en la base de los árboles (Figura 5).



Figura 5. Huerta muestreada en el municipio de Linares, N.L.

Por otra parte en la huerta de Hualahuises se encuentra vegetación entre las calles y en la base de los árboles (Figura 6); de acuerdo con Miranda-Salcedo y López-Arroyo (2010), la conservación de gramíneas o pastos entre las hileras de los árboles favorece el arraigo de enemigos naturales de *D. citri*.

A la fecha se ha identificado a *C. maculata*, *C. sanguínea*, *H. convergens*, y *O. v-nigrum*. Qureshi y Stansly (2007) reportan que en los meses de mayo y junio las poblaciones de ninfas expuestas a enemigos naturales se reducen en un 56 y 86%, respectivamente, debido a la presencia de depredadores como *Curinus coeruleus*, *O. v-nigrum*, *Harmonia axyridis* y *C. sanguínea*, reportando con mayor abundancia a *C. coeruleus* y *O. v-nigrum*. Estos resultados contrastan con los resultados obtenidos hasta el momento ya que *O. v-nigrum* y *C. sanguínea* son las únicas especies que coinciden, siendo *O. v-nigrum* la menos abundante al haber solo dos ejemplares colectados, sin embargo aún no se cuenta con los datos del mes de junio.



Figura 6. Huerta muestreada en el municipio de Hualahuises, N.L.

Cortez *et al.* (2011) reportaron la presencia de *C. sanguínea* y *O. v-nigrum* como enemigos naturales de *D. citri* para el estado de Sinaloa. Por su parte Rodríguez-Palomera *et al.* (2012) reportan estas mismas especies, así como *Chilocorus cacti*, *Nephus* sp. y *Pentilia* sp. para el estado de Nayarit.

H. convergens es la especie con mayor abundancia, 29 ejemplares se han colectado específicamente en la huerta de Linares, esta especie es considerada enemigo natural de acuerdo con Miranda-Salcedo y López-Arroyo (2010). Además, se obtuvieron cuatro ejemplares de *C. maculata*, especie que ha sido reportada en Río Bravo, Tamaulipas por Reyes-Rosas *et al.* (2013) en su estudio sobre comparación de control químico versus control biológico; en este estudio se reportan las especies de *C. sanguínea* (L.), *Harmonia axyridis* y *O. v-nigrum* como las especies de mayor presencia.

Conclusiones

En las huertas localizadas en los municipios de Linares y Hualahuises se encuentran enemigos naturales de *D. citri* los cuales pueden ser evaluados para medir el índice de depredación que pueden llegar a tener sobre el psílido asiático de los cítricos.



Agradecimientos

A CONACyT por el apoyo económico otorgado a través de la beca de posgrado. Al Fondo de Aseguramiento Agrícola Citricultores de Nuevo León por su apoyo para conseguir la colaboración de productores cooperantes, así como al Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Nuevo León y al Dr. José Isabel López Arroyo, por el apoyo y la información proporcionada.

Referencias Bibliográficas

- Bové, J.M. (2012) Huanglongbing and the future of citrus in Sao Paulo, State, Brazil. *Journal of Plant Pathology*, 94 (3), 465-467.
- CDANL. (2015). Situación de la citricultura de Nuevo León. Monterrey. Corporación para el Desarrollo Agropecuario de Nuevo León.
- Cortez, E., Lugo, N. E., Pérez, J. & Apodaca, M.A. (2011) Primer reporte de enemigos naturales y parasitismo sobre *Diaphorina citri* Kuwayama en Sinaloa, México. *Revista Científica UDO Agrícola*, 11(1): 97-103.
- Cortez-Mondaca, E., López-Arroyo, J. I., Rodríguez-Ruíz, L., Partida-Valenzuela, M. P., & Pérez-Márquez, J. (2016) Especies de Chrysopidae asociadas a *Diaphorina citri* Kuwayama en cítricos y capacidad de depredación en Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(2), 363-374.
- González, J.C., Castellanos, I.E., Fucikovsky, L.J., López, M., & Sánchez, G. (2012) Coccinélidos como potenciales enemigos naturales de *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) en un huerto de cítricos en Tuxpan, Veracruz, México. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(4), 855-860.
- González, R. (2007) Diseminación de bacterias, virus y viroides mediante semillas, portainjertos, varetas y plantas. Biociencia, S. A. de C. V. México. 9 p.
- Gordon, R. D. (1985) The Coccinellidae (Coleoptera) of America North of Mexico. *Journal of the New York Entomological Society*, 93(1): 1-912.
- Hernández-Fuentes, L.M., Urias-López, M., López-Arroyo, J.I., Gómez-Jaimes, R. & Bautista Martínez N. (2018) Control químico de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) en lima persa *Citrus latifolia* Tanaka. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 3(3), 427-439.
- Kondo, T., González, G. & Guzmán, Y.C. (2017) Enemigos naturales de *Diaphorina citri*. En: T. Kondo (Ed), Protocolo de cría y liberación de *Tamarixia radiata* Waterston (Hymenoptera: Eulophidae) (p. 23-32). Colombia. CORPOICA.
- López, A.L., Moreno, M.P., Damián, J.L.P. & De Lourdes Godínez Calderón, M. (2014) Región cítrica de Nuevo León: su complejidad territorial en el marco global. Recuperado de <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/download/41/41/125-1?inline=1>.
- Lozano, M. G. & Jasso, J. (2012) Identificación de enemigos naturales de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) en el estado de Yucatán, México. *Fitosanidad*, 16(1), 5-11.
- Martínez, J.L. (2010) Ficha Técnica de *Diaphorina citri* Kuwayama, psílido asiático de los cítricos. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Dirección General de Sanidad Vegetal. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México.



- Miranda-Salcedo M.A. & López-Arroyo J.I. (2010) Avance de investigación para el manejo del psílido asiático de los cítricos *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) en Michoacán. En: Memoria, 3er Congreso Nacional Mitigación del Daño Ambiental en el Sector Agropecuario de México. Morelia, México. p. 73-85.
- Palomares-Pérez, M., Rodríguez-Vélez, B., Ayala-Zermeño, M.A., de la Cruz-Llanas, J.J., Mendoza-Castañeda, A.M., Sánchez-González, J.A., Arredondo-Bernal, H.C. & Córdoba-Urtíz, E.G. (2016). Aspectos biológicos y capacidad de depredación de *Exochomus marginipennis* (LeConte) (Coleóptera: Coccinellidae) sobre *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae). Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences, 32(2), 102-109.
- Qureshi, J.A. & Stansly, P.A. (2007) Integrated approaches for managing the asian citrus psyllid *Diaphorina citri* (Homoptera: Psyllidae) in Florida. Proceedings Florida State Horticultural Society, 120, 110-115.
- Reyes-Rosas, M.A., Loera-Gallardo, J., & López-Arroyo, J.I. (2013) Comparación de control natural y químico del psílido asiático de los cítricos *Diaphorina citri*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 4(4), 495-501.
- Rodríguez-Palomera, M., Cambero-Campos, J., Robles-Bermúdez, A., Carvajal-Cazola, C. & Estrada-Virgen, O. (2012) Enemigos naturales asociados a *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) en limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) en Nayarit, México. Acta Zoológica Mexicana (nueva serie) 28(3):625-629.
- SENASICAa. (2019) Ficha técnica HLB. Huanglongbing. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Dirección General de Sanidad Vegetal. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México.
- SENASICA b. (2019) Primer informe mensual. Campaña contra plagas reglamentadas de los cítricos. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. México.
- Triplehorn, C.A. & Johnson, N.F. (2005) Borror and DeLong's introduction to the study of insects. 7th Edition Thompson.



Actividad antagónica de *Macrolepiota* sp. sobre hongos de frutos de *Ficus carica* L.

Jesús Salvador Hernández-Ochoa, Guadalupe Gutiérrez-Soto, Guillermo Niño-Medina y Adriana Gutiérrez-Díez.

Facultad de Agronomía, UANL. Av. Francisco Villa S/N, Col. Ex Hacienda el Canadá, tel. (81) 1340 4399. Email: jesus.hernandezoch@uanl.mx

Resumen: La producción de higo en México ha aumentado en los últimos años en equidad con su demanda. Sin embargo, una vez cosechado el fruto es altamente susceptible al ataque de hongos, lo que genera pérdidas importantes. Debido a esto, el objetivo del presente trabajo es evaluar el potencial antifúngico de *Macrolepiota* sp CS185. El potencial antagónico fue evaluado en ensayos de confrontación múltiple y en medio suplementado con el sobrenadante. Fueron determinados los porcentajes de inhibición, así como las velocidades de crecimiento de los fitopatógenos. Los aislados de *Alternaria* sp. 1 y 2 mostraron porcentajes de inhibición mayores al 60 % ($p \leq 0.05$) en confrontaciones múltiples. En los ensayos con el sobrenadante fue observada disminución en la velocidad de crecimiento de los fitopatógenos, siendo la concentración al 50 % la de máximos valores de inhibición.

Palabras clave: Potencial antifúngico, sobrenadante, higo.

Abstract: Fig production in Mexico has increased in recent years in equity with its demand. However, once the fruit is harvested it is highly susceptible to fungal attack, which generates significant losses. Due to this, the objective of the present work is to evaluate the antifungal potential of *Macrolepiota* sp CS185. The antagonistic potential was evaluated in multiple confrontation tests and in a medium supplemented with the supernatant. The percentages of inhibition were determined, as well as the growth rates of the phytopathogens. Isolated of *Alternaria* sp. 1 and 2 showed percentages of inhibition greater than 60% ($p \leq 0.05$) in multiple confrontations. In the tests with the supernatant, a decrease in the growth rate of the plant pathogens was observed, with the concentration at 50% being that of maximum inhibition values.

Keywords: Antifungal potential, supernatant, fig.

Introducción

En los últimos años la popularidad del cultivo de higos ha aumentado en México, alcanzando una producción nacional de 7,705 toneladas producidas el 2018 (FAO, 2018). Además, se espera que la producción nacional de higos aumente considerablemente por el apoyo por parte de los gobiernos de algunos estados como

Coahuila y Zacateca al sector agrícola (Higos&Figs, 2019). Así mismo, su comercialización ha tenido buena aceptación gracias a la búsqueda de alimentos con mayor contenido nutricional y de compuestos antioxidantes. Lo que se ha reflejado en el aumento de su demanda en el mercado (Pereira-Jiménez & López Corrales, 2019). Por otra parte, al ser una fruta climatérica, requiere un manejo



poscosecha adecuado para mantener la frescura e inocuidad (CICYTEX, 2015). Al presentar una epidermis frágil y rápida maduración (Trejo, 2015), es susceptible a la infección de hongos. Comúnmente de comportamiento saprofito (Irfan, *et al.* 2013), que pueden llegar a infectarlos desde la producción en campo o en el transporte y/o almacenamiento (Contreras, 2019). Los microorganismos más comunes que han sido reportados como causantes de pudriciones en higos son mohos y levaduras. Además, hay reportes en donde se han aislado hongos fitopatógenos de los géneros *Alternaria* y *Fusarium* (Baldoni, *et al.* 2016). Dichos microorganismos producen micotoxinas que pueden afectar la salud del consumidor (Frabega, *et al.* 2002). Inclusive en 2017, Yilmaz reportó presencia de flavotoxinas en frutos de higos deshidratados en el 50% de los frutos muestreados.

Es aquí donde nace el interés sobre la búsqueda de nuevas formas de evitar las pérdidas de las cosechas a causa de la actividad de los microorganismos patógenos. Existen numerosas investigaciones donde se reporta la actividad antifúngica de hongos como *Trichoderma* spp. (Vargas & Gilchrist, 2015) contra hongos fitopatógenos y poscosecha. El sobrenadante producido por *Streptomyces hydrogenans* fue reportado con potencial para controlar *in vitro* e *in vivo* a *Alternaria brassicicola*, causante de la mancha negra de la hoja de las brasicáceas (Manhas & Kaur, 2016). En anterioridad, una cepa de hongo proveniente del área metropolitana de Monterrey con actividad antifúngica contra diferentes géneros de hongos fitopatógenos aislados de tomate, recalando la inhibición del crecimiento de *Alternaria solani* (Hernández, *et al.* 2019) El presente trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar el potencial antagónico de una cepa nativa de hongos seleccionada y su sobrenadante.

Materiales y Métodos

Todos los compuestos químicos a utilizar serán de grado reactivo. Los ingredientes para preparar los medios de cultivo fue de la marca comercial BD (Becton, Dickinson and Company, U.S.A). Todas las soluciones fueron preparadas con agua bidestilada. El instrumento empleado para medir el crecimiento del micelio de los hongos fue un Vernier digital de 150mm con una precisión de 0.01mm.

En anteriores ensayos, seis cepas de hongos fueron aislados de higos con daños de pudriciones, los cuales fueron identificados hasta nivel genero mediante identificación morfológica, predominando el género *Alternaria*. Posteriormente fueron sometidos a ensayos de producción de enzimas degradadoras de componentes de pared celular vegetal. Así como a un primer escrutinio de cepas nativas de hongos con actividad antagónica contra estos hongos aislados.

Seis cepas de hongos fitopatógenos (FP) previamente aislados de higos en condiciones poscosecha fueron los utilizados para probar la actividad antagónica de cepa de un hongo nativo del área metropolitana de Monterrey, N.L (CS185) identificada como *Macrolepiota* sp. Dicha cepa proviene del cepario del Laboratorio de Enzimología de la Facultad de Biología de la UANL. El género predominante de dichos hongos aislados de higos fue determinado como *Alternaria* en ensayos anteriores mediante identificación morfológica.

Escrutinio de cepas nativas de hongos con actividad antifúngica.

Para la selección de la cepa CS185, esta fue confrontada contra los seis hongos aislados. La cepa CS185 fue sembrada en placas con medio PDA a punta de hifa de un cultivo previamente reactivado,



tomando un disco de 5 mm de diámetro y colocándolo en el centro de la placa. A los dos días posteriores fueron sembrados los patógenos a 25 mm del centro tomando un cilindro de 5 mm de diámetro proveniente de cultivos previamente reactivados. Los ocho patógenos fueron separados en dos grupos, cada uno de cuatro patógenos, además de dos grupos de control donde no fue incluida la cepa CS185. El ensayo consistió con tratamientos de tres repeticiones para cada cultivo y fue montado bajo un diseño de bloques al azar con arreglo factorial de dos factores (Día y Fitopatógeno). El crecimiento del micelio fue registrado diariamente hasta el cuarto día. La fórmula que fue empleada para calcular el porcentaje de la inhibición (%In) por la actividad antifúngica sobre cada patógeno es similar a la utilizada por Vargas & Gilchrist (2015), y es descrita a continuación;

$$\%In = \frac{C_c - C_a}{C_c} 100$$

Donde “Cc” es el promedio del crecimiento de cada fitopatógeno y “Ca” es el crecimiento del mismo fitopatógeno confrontado a la cepa CS185.

Una vez calculados los %In fueron analizados mediante un análisis de varianza y una comparación de medias por el método de Tukey ($p=0.01$) en el paquete tecnológico InfoStat.

Evaluación del sobrenadante de la cepa seleccionada.

Para evaluar el potencial antifúngico del sobrenadante de la cepa seleccionada en la etapa previa, una metodología empleada por de Hernández *et al.* (2019), fue utilizada preparando cultivos de caldo papa dextrosa (PDB), para ser inoculados con tres discos de 5 mm de diámetro de la periferia micelial de un cultivo de la cepa CS185 con 5 días de activación. Los

caldos fueron incubados a 28 °C por 15 días, que posteriormente fueron filtrados con papel Whatman® N°1 y así remover los restos de micelio del hongo presentes en el caldo.

Los sobrenadantes fueron clarificados y esterilizados utilizando el sistema de ultrafiltración por vacío (Merck Millipore, U.S.A) previamente esterilizados en autoclave durante 15 minutos a 121°C, con membranas de celulosa de 0.45 µm. Una vez filtrados, los sobrenadantes fueron agregados a un medio PDA esterilizado a concentraciones finales de 15, 30 y 50 % (v/v) del sobrenadante, y como control negativo fue utilizado el medio PDA en ausencia del sobrenadante (0 %).

Los medios fueron vertidos en placas Petri desechables de 90 mm, y fueron utilizadas para sembrar con un disco de 5 mm a partir de cada una de las cepas de fitopatógenos en el centro de la placa.

Los tratamientos consistieron en la combinación del fitopatógeno con la concentración del sobrenadante. Cada tratamiento fue realizado por triplicado. El ensayo fue montado bajo un diseño experimental de bloques al azar con arreglo factorial de 2 factores (% de sobrenadante en el medio y hongo sembrado). El crecimiento del micelio de los hongos fue registrado diariamente con la ayuda de un vernier.

El crecimiento del micelio de cada cultivo fue graficado en Excel para determinar la velocidad de crecimiento diario con una regresión lineal.

Para calcular el porcentaje de inhibición (%In) del crecimiento fue empleada la siguiente fórmula:

$$\%In = \frac{C_c - C_s}{C_c} 100$$



Donde “Cc” corresponde al crecimiento de cada fitopatógeno en ausencia de extracto (control negativo= tratamiento 0%)

“Cs” corresponde al crecimiento de cada fitopatógeno en presencia del sobrenadante de cada antagonista en cada concentración de dicho sobrenadante (15%, 30% y 50%).

Los porcentajes de inhibición al noveno día fueron sometidos a un análisis de varianza y una comparación de medias por el método de Tukey ($p = 0.01$) mediante el paquete estadístico InfoStat.

Resultados y Discusión

Los resultados de la evaluación de la actividad antifúngica de la cepa CS185 y del sobrenadante del mismo cultivo líquido contra los patógenos aislados de higos en condiciones de poscosecha son mostrados a continuación.

Escrutinio de cepas nativas de hongos con actividad antifúngica.

Realizando un análisis de varianza se encontraron diferencias significativas entre los porcentajes de inhibición de cada patógeno y en los días ($p < 0.01$), sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en la interacción ($p > 0.01$). Por lo que se compararon los efectos principales de cada variable. Dichas comparaciones son mostradas en los Cuadros 1 y 2, donde observamos un mayor %In del crecimiento de los FP en la dirección de la confrontación con CS185 en los días tres y cuatro. Sin embargo, el aumento de la media general de los porcentajes de inhibición fue menor en los últimos días. El FP 2 fue el más susceptible contra CS185. En dicha cepa fue logrado un %In promedio del 68%, seguido del FP 1 con un 61.9% general. El FP 4 fue el que tuvo menor %In de su crecimiento teniendo solamente 48.84%.

Cuadro 1. Comparación de medias de cada día.

Día	Media para cada día	P=0.01
4	64.07	a
3	61.98	a b
2	54.46	b
1	51.46	b

a, b Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

Los resultados de la inhibición de los hongos FP 6 y 3 resultaron ser estadísticamente similares tanto a los resultados del hongo FP 2 como del hongo FP 4 (Cuadro 2).

Cuadro 2. Comparación de medias del % de inhibición de cada fitopatógeno.

FP	Media del % de inhibición	P=0.01
2	68.02	a
1	61.90	a b
6	58.51	a b c
3	56.77	a b c
5	53.92	b c
4	48.84	c

a, b, c Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

En todos los hongos FP que fueron confrontados a la cepa CS185 el %In del crecimiento del micelio fue aumentando a través de los días de incubación, destacando los hongos FP 1, 2, 5 y 6 que después del día 2 del ensayo la inhibición tuvo un aumento de más del 10% (Cuadro 3).

Cuadro 3. %In de los FP por la actividad antifúngica de la cepa CS185.

FP	Porcentaje de inhibición por día (%)			
	1*	2*	3*	4*
1	55.65	58.31	64.65	68.99
2	63.02	63.71	72.05	73.28
3	54.46	56.81	59.81	56.01
4	46.15	46.03	50.12	53.06
5	38.06	48.29	62.31	66.99
6	51.43	53.60	62.96	66.06

*Días de incubación del ensayo.



Al día 4 del ensayo en todos los hongos FP confrontados por la cepa CS185 fue lograda una inhibición del crecimiento de micelio mayor al 50% en los cultivos de los FP 1, 5 y 6. Además de alcanzar un 73.28% en el FP 2 como máximo en el experimento. Dichos resultados fueron superiores a los %In reportados por Caiza-Sango & Ávila-Vélez (2017) en ensayos de confrontaciones duales de cepas nativas de *Trichoderma* spp. contra *Fusarium oxysporum*, *Heterosporium echinulatum* y *Alternaria solani*, donde alcanzaron un máximo de 55% de inhibición para el caso de *Alternaria* sp.

El crecimiento de los hongos aislados de higos en dirección a la confrontación con la cepa CS185 es reducido a comparación con el crecimiento de los mismos hongos sin confrontar a la cepa CS185, como es visualizado en la Figura 1.

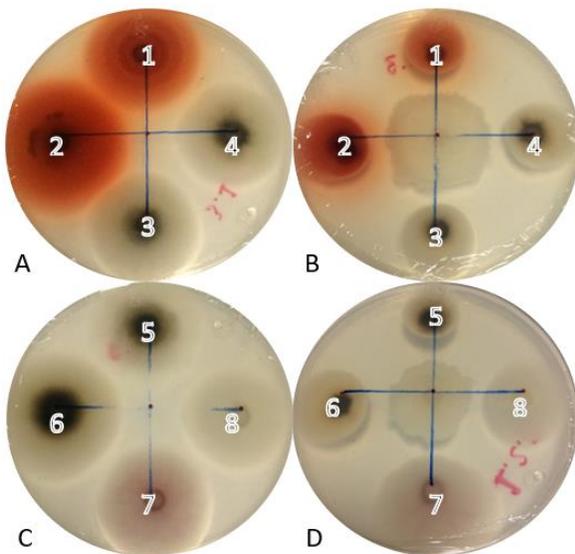


Figura 1. Cultivo control del escrutinio de los FP (A y C), cultivo de los FP confrontando a la cepa CS185 (B y D).

Un reporte donde confrontaron una cepa de *Trichoderma* sp. contra dos cepas de *Fusarium* sp. aisladas de tallos y raíces de tomate, mostrando un efecto inhibitorio después del tercer día del ensayo, similar

de la curva de crecimiento en la Figura 2 donde es posible ver los efectos inhibitorios desde el primer día de incubación (Vargas y Gilchrist, 2015).

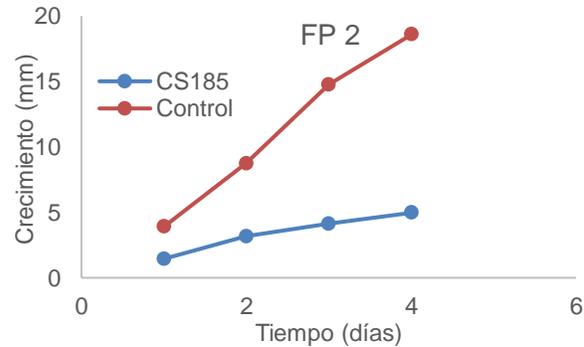


Figura 2. Curva de crecimiento de micelio del FP 2 confrontando a la cepa CS185 y del cultivo control.

Evaluación del sobrenadante de la cepa seleccionada

Los resultados del cálculo de la velocidad del crecimiento de las cepas son mostrados en el Cuadro 4, donde se puede observar la disminución de la velocidad de crecimiento de cada hongo por la influencia en las diferentes concentraciones del sobrenadante.

Cuadro 4. Velocidad de crecimiento de cada FP en cada tratamiento.

FP	Tratamiento	Velocidad de crecimiento (mm/día)	R ₂
1	Control	3.0419	0.9684
	15%*	2.4181	0.9936
	30%*	2.1725	0.9955
	50%*	1.8828	0.9900
2	Control	4.3419	0.9839
	15%	3.0900	0.9963
	30%	2.4242	0.9931
	50%	2.2028	0.9942
3	Control	4.5111	0.9963
	15%	3.9953	0.9919
	30%	3.6103	0.9864
	50%	3.2983	0.9934
4	Control	2.7583	0.9972
	15%	2.2454	0.9900
	30%	1.9639	0.9831
	50%	2.0628	0.9908
5	Control	2.8026	0.9596



LII CICLO DE SEMINARIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
Y II JORNADA DE INVESTIGACIÓN DE ESTUDIANTES DE NIVEL SUPERIOR

1, 2 y 3 Junio 2020

	15%	2.4939	0.9601
	30%	2.2225	0.9713
	50%	2.0183	0.9573
	Control	3.9320	0.9907
6	15%	3.1514	0.9959
	30%	3.1225	0.9922
	50%	2.8492	0.9889

*Concentración del sobrenadante de la cepa CS185 en el medio de cultivo.

En la Figura 3, el crecimiento del FP 2 en los cuatro tratamientos es apreciado, donde la curva de crecimiento de tratamiento control es mayor a los tratamientos con la presencia del sobrenadante en el medio.

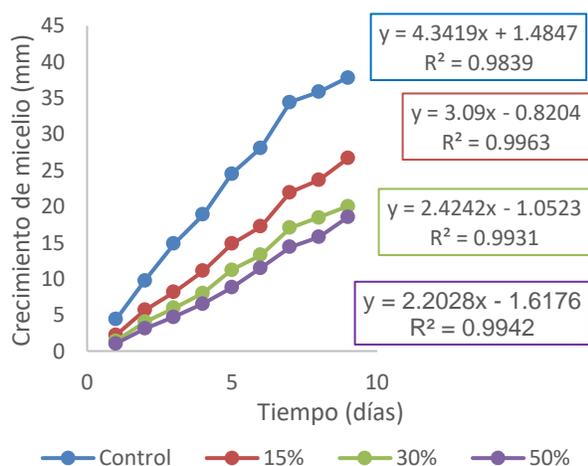


Figura 3. Curva de crecimiento promedio del FP 2 en cada tratamiento.

Los resultados del análisis de varianza de los %In al día nueve de incubación son mostrados en el Cuadro 5. El FP 2 continuó siendo la cepa con los valores más altos de %In ($p < 0.01$). En los tratamientos con 30 y 50% de concentración del sobrenadante observamos un 47 y 51% de inhibición respectivamente. Nuevamente el FP 4 fue de los hongos con menores %In. Sin embargo, en este ensayo el hongo FP 3 fue el menos afectado en el crecimiento consiguiendo apenas un 26% de inhibición con el 50% de concentración del sobrenadante en el medio de cultivo.

Cuadro 5. %In de los seis FP al día nueve de incubación.

FP	% de inhibición		
	15%*	30%*	50%*
1	24.3 cdef	31.6 bc	43.1 ab
2	29.5 cde	47.0 a	51.0 a
3	9.6 g	18.1 efg	26.0 cde
4	14.1 fg	25.8 cdef	27.5 cde
5	10.7 g	19.7 defg	27.6 cde
6	24.1 cdef	24.4 cdef	30.6 cd
Desv. Esta.	8.38	10.40	9.92

* Concentración del sobrenadante en el medio

**Desviación estándar

En la mayoría de los hongos FP no hubo una diferencia significativa entre los porcentajes de inhibición obtenidos con el 30 y 50% de concentración del sobrenadante en el medio.

En la Figura 4 es posible apreciar la actividad del sobrenadante sobre el crecimiento del hongo con mayor susceptibilidad (FP 2), y aun en el crecimiento del hongo con mayor tolerancia al sobrenadante en el ensayo (FP 4).

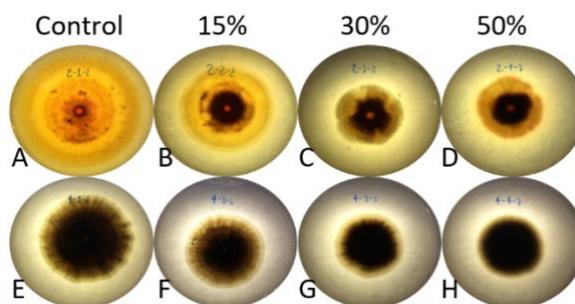


Figura 4. FP 2 (A, B, C y D) y FP 4 (E, F, G y H) a diferentes concentraciones del sobrenadante al día nueve de incubación.

La actividad antifúngica del sobrenadante fue disminuyendo durante el transcurso de los nueve días del experimento oscilando entre un 40 y 76% de inhibición en los tres tratamientos con alguna concentración de sobrenadante en el medio durante los



nueve días de incubación (Figura 5). Esto podría deberse a cantidad limitada del compuesto antifúngico producido por CS185 en el sobrenadante. La presencia de los FP en el ensayo de las confrontaciones puede influir como factor de inducción de la producción de los compuestos con actividad antagonista, debido a la relación del establecimiento del hongo antagonista y el aumento de la actividad inhibitoria (Vargas y Gilchrist, 2015).

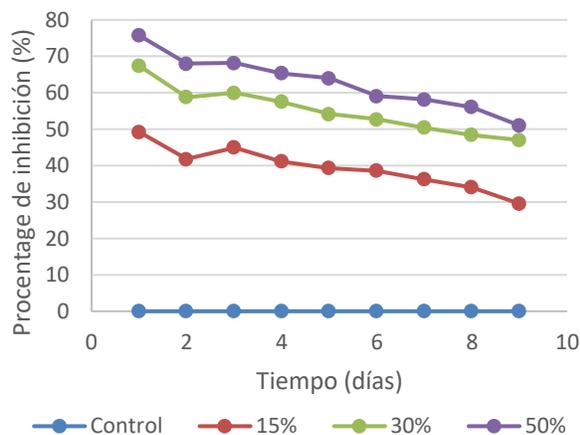


Figura 5. Comportamiento de %In del FP 2 por cada tratamiento durante los nueve días de incubación.

Conclusiones

1. La cepa CS185 exhibe una actividad antagonista contra todos los hongos aislados de higos en condición de poscosecha.
2. El sobrenadante de la cepa CS185 muestra una inhibición en el crecimiento de los patógenos en condiciones *in vitro* hasta el día 9 de cultivo.
3. El hongo 2 aislado de higos en condiciones de poscosecha fue el más susceptible a la presencia del sobrenadante en el medio de cultivo.
4. Hubo una disminución en la actividad antifúngica al utilizar el sobrenadante en el medio en comparación con la confrontación

directa de CS185 contra los hongos aislados de higos.

Agradecimientos

Agradezco al CONACYT, por el programa de becas de Maestría que es de gran apoyo para solventar parte de los gastos de la investigación.

Agradezco al programa PAICYT 2019 CT-724-19, por ser fuente de financiamiento de la presente investigación.

Agradezco a la Dra. Sugely Ramona Sinagawa García, por permitirme trabajar en el laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Agronomía de la UANL, así como al responsable técnico de dicho laboratorio el I.B. Jesús Alberto Lara Reyes.

Agradezco al Dr. Carlos Eduardo Hernández Luna por permitirme hacer algunas actividades relacionadas con esta investigación en el Laboratorio de Enzimología de la Facultad de Ciencias Biológicas, UANL, así como la facilitarnos hongos del cepario de dicho laboratorio.

Referencias Bibliográficas

- Baldoni, D., Ventura, R., Hernández, M., Corona, M., Barrera, L., Correa, Z., Bautista, S. (2016). Calidad postcosecha de higos 'black mission' tratados con cubiertas naturales. *Rev. Iber. Tecnología Postcosecha*, 17(2), 267-275.
- Caiza-Sango, S. E. & Ávila-Vélez, J. M. (2017). Evaluación *in vitro* de la capacidad antagonista de *Trichoderma* Comercial (*Trichoderma harzianum*) y *Trichoderma* Nativo (*Trichoderma* sp.) frente a los patógenos *Alternaria* sp., *Fusarium oxysporum* y *Heterosporium echinolatum* del cultivo de clavel (*Dianthus caryophyllus*) (Tesis de Licenciatura). Escuela Politécnica



- Nacional. Quito, Ecuador. Recuperado de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/17534/1/CD-8039.pdf>
- CICYTEX (17 de noviembre de 2015). Logran prolongar la vida útil de higos y brevas. Nota de Prensa - Producción Hortofrutícola y Tecnología Postcosecha - Nuevas tecnologías en agroganadería, forestales y conservación de alimentos. La paz, Baja California Sur. Recuperado de: <http://cicytex.juntaex.es/es/noticias/132/logran-prolongar-la-vida-util-de-higos-y-brevas>
- Contreras, S. (2019). Actividad antifúngica de un recubrimiento biodegradable para el manejo poscosecha de *Ficus carica* (Tesis de Maestría). Instituto Politécnico Nacional, Centro de Desarrollo de Productos Bióticos. Yautepec, Morelos, México. Recuperado de: <https://pdfs.semanticscholar.org/02a3/a1d124bc57c5973f6e7c44bafceb808a0a92.pdf>
- Fabrega, A., Agut, M. & Calvo, M. A. (2002). El género *Alternaria*: características morfológicas y capacidad de producción de micotoxinas. Anales de la Real Academia de Doctores 6, 357-367.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, (2018). FAOSTAT statistics database. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Hernández, J., Levi, L., Hernández, C., Contreras, J., Niño, G., Chávez, A., López, I., Gutiérrez, J. (2019). Antagonistic Potential of *Macrolepiota* sp. Against *Alternaria solani* as Causal Agent of Early Blight Disease in Tomato Plants. Gesunde Pflanzen, 1-8.
- Higos&Figs. (2020, marzo, 23). La higuera es el principal cultivo para la diversificación del sector agrícola en México. Recuperado de: <https://higosandfigs.com/tag/mexico/>
- Higos&Figs. (2020, marzo, 9). Producción de higos bajo malla sombra y macrotúnel en el estado mexicano de Zacatecas. Recuperado de: <https://higosandfigs.com/tag/mexico/>
- Irfan, P. K., Vanjakshic, V., Keshava Prakasha, M. N., Ravie, R. y Kudachikara, V. R. (2013). Calcium chloride extends the keeping quality of fig fruit (*Ficus carica* L.) during storage and shelf-life. Postharvest Biology Technology. 82, 70-75.
- Manhas, R. K., Kaur, T. (2016). Biocontrol Potential of *Streptomyces hydrogenans* Strain DH16 toward *Alternaria brassicicola* to Control Damping Off and Black Leaf Spot of *Raphanus sativus*. Front. Plant Sci., <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01869>
- Pereira-Jiménez, C & López-Corrales, M. (2016). Comportamiento agronómico y estudio del punto óptimo de maduración nutricional y funcional de variedades de higuera interesantes para consumo en fresco (Tesis de Doctorado). Universidad de Extremadura. España. Recuperado de: <https://pdfs.semanticscholar.org/b944/dd44bf8f995eefb03c6b4206272cb50346bb.pdf>
- Trejo, E. (2019, enero, 14). Manejo del higo fresco en la postcosecha. Higos & Figs. Recuperado de: <https://higosandfigs.com/2015/01/14/manejo-del-higo-fresco-en-la-postcosecha/>
- Vargas-Hoyos, H. A. & Gilchrist-Ramelli, E. (2015). Producción de enzimas hidrolíticas y actividad antagónica de *Trichoderma asperellum* sobre dos cepas de *Fusarium* aisladas de cultivos de tomate (*Solanum*



LII CICLO DE SEMINARIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
Y II JORNADA DE INVESTIGACIÓN DE ESTUDIANTES DE NIVEL SUPERIOR

1, 2 y 3 Junio 2020

lycopersicum). Revista Mexicana de
Micología. 42, 9-16.

Yilmaz, S. O. (2017). The contamination
rate of aflatoxins in ground red
peppers, dried figs, walnuts without
shell and seedless black raisins

commercialized in Sakarya City
Center, Turkey. Ital. J. Food Sci.,
29, 591-598.
[https://doi.org/10.14674/1120-1770-
IJFS670](https://doi.org/10.14674/1120-1770-IJFS670)



Evaluación fenotípica y bioquímica del maíz bajo la aplicación de nanopartículas. I Fase de campo

Juan Angel Espinoza-Alonso¹; Francisco Zavala-García¹; Guillermo Niño-Medina¹; Sugey Ramona Sinagawa-García¹; Josué García-López²; Marisol Galicia Juarez³.

¹Facultad de Agronomía, UANL. Av. Francisco Villa S/N, Col. Ex Hacienda el Canadá, tel. (81) 1340 4399.

²Departamento de Semillas, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

³Instituto de investigaciones agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California, Carretera a Delta/Oaxaca S/N, Ejido Nuevo León, Valle de Mexicali, Baja California.

Email: juan.espinozaaln@uanl.edu.mx

Resumen. La importancia del cultivo de maíz en México se debe a que es el cultivo con mayor extensión territorial ocupada y además es motor económico en el país, por su importancia en el mercado. México es el centro de origen y diversidad del maíz, debido a esto el maíz criollo y su diversidad de pigmentos toman importancia para su estudio, pues razas pigmentadas producen antocianinas, metabolito secundario con importancia económica por los beneficios en actividades antropocéntricas y promueve la resistencia del cultivo a condiciones de estrés abiótico. Diversas investigaciones han demostrado que la aplicación de nanopartículas, promueven la producción de metabolitos secundarios. En esta investigación se pretende analizar el efecto de la aplicación de nanopartículas funcionalizadas en la producción de antocianinas y su relación con la resistencia a estrés abiótico. Los trabajos se llevarán a cabo en la Unidad Académica Marín de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Palabras clave: Nanopartículas, *Zea mays* L., antocianinas, estrés abiótico.

Abstract: The relevance of corn production in Mexico lies on it being the crop with the largest territorial extension and being an economic engine due to its importance in the market. Mexico is the center of origin and diversity of corn, which includes a vast spectrum of corn types relevant to this study. It is known that different types of corn produce anthocyanins as secondary metabolites and those compounds are precious because they are used in anthropocentric activities and they induce antibiotic stress resistance. Multiple investigations have shown that nanoparticle application promotes secondary metabolites production. Therefore, this research project aims to analyze whether the application of functionalized nanoparticles promotes the production of anthocyanins and their relationship with resistance to abiotic stress. This work will be carried out in the Marín Academic Unit of the Faculty of Agronomy of the Autonomous University of Nuevo León.

Keywords: Functionalized Multiwalled Nanotubes, *Zea mays* L., anthocyanins concentration, water stress.

Introducción

El cultivo de maíz en México es el más importante por su extensión territorial,

según el INEGI en el año 2017 se reportó una siembra de 8,449,326 ha, que incluye la producción de maíz de grano blanco y amarillo. Su importancia se relaciona al uso en la dieta del mexicano desde la



época precolombina, asociado al proceso de nixtamalización y producción de masas para tortillas, tamales y muchos otros productos derivados. También se utilizan otras partes de la planta, como las hojas de la mazorca, además como abono, combustible, y forraje, por eso es considerado un motor económico para México. Existen regiones específicas del país en las que se produce maíz de razas criollas pigmentadas, para usos muy específicos (Kato et al., 2009).

Es en México donde se localiza el centro de origen y diversidad del maíz, es por eso que en todo el territorio hay 60 razas identificadas (Kato et al., 2009). Dentro de los tipos de maíz existentes, se encuentran los maíces de colores o pigmentados, particularmente los maíces morados, tiene en sus granos y otras partes de la planta, antocianinas que son sustancias responsables de darle al grano esta coloración (Valle et al., 2019). Las antocianinas corresponden a la clasificación de los compuestos fenólicos y estos son considerados producto del metabolismo secundario de las plantas durante el desarrollo normal y en respuesta a condiciones de estrés, como infecciones, heridas mecánicas, radiación UV, alta temperatura, sequía, entre otros (Naczka et al., 2004).

Particularmente en maíz, se ha reportado la producción de antocianinas bajo condiciones de estrés abiótico, las cuales son condiciones que hoy en día, toman relevancia por el cambio climático en zonas que se ven afectadas por incrementos o descensos de temperatura, escasez de agua, altas intensidades de radiación UV, entre otras, que se pueden presentar en las zonas de producción de este cultivo. La respuesta de la planta a condiciones de estrés ha sido muy variada, en algunos casos se ha visto un incremento en la producción de elementos de respuesta ya sea del metabolismo primario y/o secundario; por ejemplo, en la

raíz de maíz hubo un incremento en la concentración de antocianinas bajo la exposición a estrés de sequía (Chalker-Scott, 1999). Otros estudios como los reportados por Christie et al. (1994) han demostrado que el incremento en la producción de antocianinas se presentó a bajas temperaturas (15°C), para no interrumpir el crecimiento normal de la planta, acelerando la producción de dichos compuestos. Otro estudio por Moharramnejad et al. (2019), concluyeron que el estrés por déficit de agua causó un mayor decremento en la concentración de compuestos fenólicos totales en una variedad de maíz resistente a sequía MO17, a diferencia de la variedad sensible a la sequía B73, la cual mostró una mayor acumulación de fenoles.

En la constante búsqueda de soluciones a los problemas de estrés abiótico (sequía, altas y bajas temperaturas, salinidad, etc.), surge la posibilidad del uso de nanopartículas para inducir cambios en el metabolismo secundario, hacia la producción de compuestos fenólicos que induzcan una mayor resistencia de los cultivos a condiciones de estos tipos de estrés.

Las nanopartículas (NP's) se definen como partículas de materia que tienen dimensiones menores a los 100 nm (Auffan et al., 2009) y su aplicación, directamente al follaje o al suelo para ser absorbidos por la raíz de las plantas, tienen un efecto en el contenido de hormonas reguladoras, producción de enzimas oxidantes, metabolitos secundarios, elongación de la raíz, entre otros. Las NP's se han utilizado como fertilizantes con el fin de provocar ciertos cambios metabólicos en las plantas (Yang et al., 2017 y Rastogi et al., 2017); además, las NP's mayormente estudiadas son las metálicas y óxido metálicas por su extenso uso en la industria; un ejemplo de ellas son las NP's de dióxido de titanio, plata, óxido de zinc, dióxido de cerio,



cobre, aluminio, níquel y hierro; algunas NP's no metálicas como los nanotubos de carbonos y los fullerenos también han sido estudiados para evaluar su posible efecto tóxico en las plantas (Joner et al., 2008), aunque otros estudios han demostrado además un efecto benéfico (Tripathi et al., 2015).

La aplicación de nanopartículas de plata de 18 nm al suelo, con periodos de tres riegos constantes durante 7 días, fueron evaluadas en un estudio con arroz (*Oryza sativa* L.) dando como resultado, que una alta concentración de NP's penetran la pared celular y generan daños en las vacuolas, a diferencia que cuando se tenían en una baja concentración. En concentraciones de 30 $\mu\text{g}/\text{mL}$, las NP's de plata aceleraron el crecimiento de las raíces mientras que en concentraciones de 60 $\mu\text{g}/\text{mL}$ inhibieron la capacidad de la raíz para crecer (Mirzajani et al., 2013). Otros estudios han demostrado una relación inversa entre el tamaño de la NP's de plata y la toxicidad, ya que las NP's pequeñas provocan mayor toxicidad en comparación con aquellas de tamaño mayor (Cvjetko et al., 2017).

Tripathi et al. (2017) demostraron que un efecto benéfico ocasionado por Las NP's de plata fue en la producción de enzimas oxidantes y moléculas antioxidantes como un mecanismo de adaptación. Las NP's de cobre y óxido de cobre son otro modelo de estudio importante, pues una alta concentración de estas provocó un desarrollo deficiente de la raíz de ciertos cultivos (Adhikari et al., 2012). Por otra parte, las NP's de cobre han mostrado tener incidencia en la mejora de la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) en plantas de cebada (Shaw et al., 2014) y diferentes compuestos antioxidantes se incrementaron significativamente en plantas de lenteja y cebada (Song et al., 2016).

En otro estudio donde se expusieron plantas de maíz a nanotubos de carbono, el cultivo no manifestó síntomas de estrés ligado a la exposición de dicha nanopartícula; sin embargo, presentaba translocación de los nanotubos en el suelo a la raíz, tallo y hojas. Un futuro enfoque de estudio es agregar grupos funcionales activos en la superficie de estos nanotubos para la toma de nutrientes en las plantas, haciendo una función de transporte de dichas NP's (Cano et al., 2016).

En un estudio realizado por Lahiani et al. (2013) se analizaron tres concentraciones de nanotubos de carbono de pared múltiple de 15-40 nm de diámetro por aspersión foliar a nivel de plántula a los dos días después de la germinación (25-100 $\mu\text{g}/\text{mL}$) en maíz y se determinó que la tasa de germinación y crecimiento se incrementó significativamente en las concentraciones de 50 y 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$, comparadas con el control (sin tratamiento de nanopartículas), la menor concentración evaluada no generó diferencias significativas con respecto al control en base al rendimiento. El análisis diferencial de la longitud de la raíz, del brote, hojas, peso fresco de raíz y tallo, peso seco de raíz y tallo fueron determinados a los 10 días.

La exposición a nanotubos de carbono de pared múltiple en concentración de 100 y 250 $\mu\text{g}/\text{mL}$ en *Satureja khuzestanica* provocaron cambios en la biosíntesis de metabolitos secundarios, con mayor énfasis en compuestos fenólicos totales con relación al control. En conclusión, los contenidos totales de flavonoides y fenólicos alcanzaron un valor de hasta 2.6 a una concentración de 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ de nanotubos de carbono de pared múltiple (MWNT), en comparación con el control (Lahiani et al., 2013; Ghorbanpour et al., 2015).

Debido a la importancia que puede tener la aplicación de nanopartículas en los cultivos y particularmente en el maíz, en la



expresión de metabolitos secundarios que puedan ayudar a la planta a lograr una mayor adaptación a condiciones de estrés abiótico, es que se propone un trabajo de investigación con los siguiente

Hipótesis:

La aplicación de nanopartículas induce un aumento en la producción de compuestos fenólicos en los tejidos del cultivo generando una resistencia favorable al estrés por sequía y alta temperatura.

Objetivo General:

Comparar el efecto en la aplicación de tres nanopartículas en diferentes concentraciones en la producción de compuestos fenólicos en maíz y su posible relación con resistencia a sequía y alta temperatura.

Objetivos específicos.

1. Determinar la concentración óptima de nanopartículas para inducir el aumento en la concentración de compuestos fenólicos en tallo, lámina y vaina de la hoja en tres genotipos de maíz.
2. Evaluar la aplicación de nanopartículas y la resistencia al estrés por sequía y alta temperatura.

Materiales y métodos.

Esta fase del trabajo de investigación se concentrará en el Objetivo 1

Material vegetal.

Tres genotipos híbridos de maíz fueron utilizados con el fin evitar variabilidad genética dentro de la población y poder determinar con mayor precisión las variaciones causadas por la aplicación de las nanopartículas. Los genotipos que fueron utilizados son:

- 1) Híbrido de maíz morado Negro carioca.
- 2) Híbrido de maíz amarillo: Amarillo zanahoria.

- 3) Híbrido de maíz blanco Pioneer P3057W

Material no vegetal.

En los experimentos se utilizaron nanotubos de carbono de pared múltiple (MWNT's) funcionalizados con OH, Magnesio y una nanopartícula metálica de MgO. Las nanopartículas fueron adquiridas de la empresa Galippsso Trading®.

Establecimiento del ensayo de campo

Los trabajos se realizaron en las instalaciones de la Facultad de Agronomía, tanto en la Unidad Académica de Marín ubicada en Merín, N.L. así como en el Laboratorio de Química y Bioquímica en el campus de Ciencias Agropecuarias de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, ubicada en el municipio de General Escobedo, N.L

La primera fase de campo consistió en una fase de campo para cumplir con el objetivo específico 1. Se utilizó un diseño experimental de Parcelas Subdivididas, utilizando como parcela grande los genotipos (Amarillo zanahoria, Negro coriaca y Pioneer P3057W), como parcela mediana se utilizaron las nanopartículas, de ahora en adelante, los nanotubos de carbono de pared múltiple, se mencionarán como MWNT's posteriormente, con sus grupos funcionales (COOH, OH y MgO) y la nanopartícula de Óxido de magnesio como NpMgO, y como parcela chica se utilizaron las concentraciones (100 mgL⁻¹, 150 mgL⁻¹, 250 mgL⁻¹) en base a los trabajos de Lahiani et al. (2013) y Hatami et al. (2016).

Previo a la siembra, se aplicó gallinaza al suelo a una concentración de 3 ton ha⁻¹. Se realizó una aplicación de herbicida preemergente con 2 kg de atrazin en 300 L ha⁻¹. Después de la siembra se colocó un sistema de riego por goteo y se realizó el 7 de febrero la aplicación de un



herbicida preemergente con dosis de 2 kg ha⁻¹, además el 2 de marzo se aplicó un insecticida de nombre Lambda Cyhalotrina con una dosis de 30 g ha⁻¹. para mantener al cultivo libre del ataque de patógenos como el gusano cogollero, araña roja, y gusano trozador, que pudieran afectar al buen desarrollo del cultivo.

Para llevar a cabo la aplicación de las NP's, se inició con la imbibición de la semilla en cada uno de los tratamientos durante 24 h el 30 de enero de 2020 y posteriormente la semilla se puso a germinar en charolas de germinación de 20 x 10 (200 plantas por charolas) bajo condiciones controladas para mitigar los efectos de bajas temperaturas en la Unidad Académica Marín. A los 18 días después se realizó el trasplante de las charolas de germinación al lote experimental el día 17 de febrero del 2020 correspondiente al ciclo de otoño-invierno del 2019-2020. El trasplante se realizó en surcos a 0.8 m de separación y una distancia entre plantas de 0.20 m. La unidad experimental fue de 4 surcos de 5 m de largo utilizando tres repeticiones.

Aplicación de los tratamientos

Las suspensiones con nanopartículas se prepararon en el laboratorio de Química y Bioquímica en el campus de Ciencias Agropecuarias de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, ubicada en el municipio de General Escobedo, N.L, utilizando agua corriente a las concentraciones mencionadas y se homogeneizaron con un sonicador de sonda (Qsonica, CT, USA) durante 30 min a 120 voltios, 3 amperios y 50 a 60 GHz.

Las aplicaciones de las nanopartículas se realizaron en las siguientes etapas del desarrollo: Semilla (Imbibición), diferenciación floral (en hoja V3-V4), y etapa V7-V8 mediante aplicación foliar según la metodología usada por Ghorbanpour et al. (2015) y Lahiani et al, (2013) quienes evaluaron la aplicación de

MWNT's, a 250 mgL⁻¹. La aplicación de las nanopartículas en las etapas V3-V4 y V7-V8, se realizaron utilizando atomizadores comerciales con capacidad de 1 litro.

Toma de muestras

El 7 de febrero de 2020 se realizaron muestreos de una planta por repetición (3 plantas) para cuantificar la concentración de las nanopartículas y determinar su presencia en los diferentes órganos de las plantas de maíz.

Al mismo tiempo, se tomó otra muestra de las láminas y vainas de la hoja de la mazorca de 10 plantas por unidad experimental para la cuantificación de antocianinas y compuestos fenólicos. Para su posterior análisis, las láminas y vainas de la hoja de la mazorca, por cada unidad experimental se mezclarán y se preparará un compuesto de 50 g de cada tejido foliar. Posteriormente, las muestras se liofilizaron con un equipo Labconco Freezone™ Freeze-Dry Systems (Kansas City, MO, EE. UU.), para después ser molida y dejar lista la muestra para su posterior análisis.

Determinación de antocianinas.

Para estas determinaciones se utilizará la metodología propuesta por Vázquez-Olivo (2019) con ligeras modificaciones; se pesarán 0.25 g de la materia seca molida de cada uno de los órganos de la planta utilizados, a los cuales se les agregarán 5 mL de metanol al 80%, manteniéndolo en agitación a 300 RPM usando un agitador magnético en cada tubo de ensayo, durante 2 hr. Posteriormente, la muestra se centrifugará a 5000 RPM a una temperatura de 4°C, durante 15 minutos. Posteriormente se realizarán las pruebas de Folin-Ciocalteu, método de DPPH y método de ABTS, basándose en la metodología propuesta por Hernández et al. (2018).

Variables agronómicas

Además de la cuantificación de las antocianinas y compuestos fenólicos, se



además serán consideradas como variables de respuesta, las siguientes características agronómicas:

Días a floración masculina (DFM; días). Se considerará cuando el 50 % de las plantas tengan las espigas expuestas soltando polen.

Días a floración femenina (DFF; días). Se considerará cuando el 50 % de las plantas tengan los estigmas expuestos.

Altura de planta (APL; cm). Se medirán cinco plantas al azar en cada unidad experimental, midiendo desde el suelo hasta la punta de la espiga.

Longitud de la mazorca (LMZ; cm). Se medirán las mazorcas de cinco plantas desde la base a la punta de la misma.

Diámetro de mazorca (DMZ; cm). Se medirá el ancho de la mazorca en el punto medio a cinco mazorcas de cada unidad experimental.

Análisis estadístico

Se utilizará un diseño experimental de Parcelas Subdivididas, con bloques completo al azar, utilizando como parcela grande los genotipos, como parcela mediana las nanopartículas y como parcela chica se utilizarán las concentraciones. El modelo lineal estadístico para usar será el de un parcelas subdivididas: $Y_{ijk} = \mu + B_i + S_j + E_{ij(a)} + H_k + (SH)_{jk} + E_{ijk(b)} + M_l + (SM)_{jl} + (HM)_{kl} + (SHM)_{jkl} + E_{ijkl(c)}$ realizando un análisis de varianza para las variables de respuesta, con comparación de medias por Test de Tukey.

Resultados y Discusión

Al momento del escrito se habían considerado únicamente los datos de DFM y DFF. En el Cuadro 1 se presentan las medias de los tratamientos involucrados en el experimento.

Los días a Floración masculina en los tres genotipos fue de 88 días, mientras que los

días a floración femenina fueron de 95, 94 y 91 para los genotipos G1, G2 y G3, respectivamente, es importante mencionar que los datos agronómicos restantes quedan pendientes para realizar la correspondiente comparación entre tratamientos.

Cuadro 1. Medias de los tratamientos de tres repeticiones de las variables de respuesta Días a floración masculina y femenina (DFM y DFF, respectivamente) involucrados en el experimento. Genotipo 1 Maíz híbrido Negro carioca, Genotipo 2 Maíz Híbrido Amarillo HIT24 y Genotipo 3 Maíz Pioneer® PW3057 NP1- Nanotubo de carbono de pared múltiple funcionalizado con un grupo OH. NP2- Nanotubo de carbono de pared múltiple funcionalizado con un grupo de MgO NP3, Nanopartícula metálica de MgO. C1-100 mgL⁻¹, C2- 150 mgL⁻¹ y C3-250 mgL⁻¹

Tratamiento	DFM	DFF
G1NP1C1	88	95
G1NP1C2	88	95
G1NP1C3	88	95
G1NP2C1	88	95
G1NP2C2	88	95
G1NP2C3	88	95
G1NP3C1	88	95
G1NP3C2	88	95
G1NP3C3	88	95
G2NP1C1	88	94
G2NP1C2	88	94
G2NP1C3	88	94
G2NP2C1	88	94
G2NP2C2	88	94
G2NP2C3	88	94
G2NP3C1	88	94
G2NP3C2	88	94
G2NP3C3	88	94
G3NP1C1	88	91
G3NP1C2	88	91
G3NP1C3	88	91
G3NP2C1	88	91
G3NP2C2	88	91
G3NP2C3	88	91
G3NP3C1	88	91
G3NP3C2	88	91
G3NP3C3	88	91
G1NP1C0	88	95
G2NP2C0	88	94
G3NP3C0	88	91



Cronograma de actividades.

Actividad	Semestre 1 Ago-Dic 2019	Semestre 2 Ene-Jun 2020	Semestre 3 Ago-Dic2020	Semestre 4 Ene-Jun 2021	Agosto de 2021
Revisión de literatura	X	X	X	X	
Preparación de insumos del experimento	X				
Siembra de material en Unidad Académica Marín.		X			
Desarrollo del material vegetal hasta estado de aplicación de tratamientos		X			
Aplicación de tratamientos de nanopartículas		X			
Actividades de mantenimiento de inocuidad del cultivo (aplicación de herbicidas y deshierbes)		X			
Recolecta de datos/Análisis de contenido de antocianinas		X			
Estancia académica			X		
Participación en congresos					
Siembra de material bajo concentración estandarizada y evaluación a la resistencia al estrés			X		
Análisis de cuantificación de antocianinas y resistencia al estrés de sequía con relación a tratamientos			X		
Escritura de tesis	X	X	X	X	
Defensa de Tesis					X

Referencias Bibliográficas

- Adhikari, T., Kundu, S., Biswas, A. K., Tarafdar, J. C., and Rao, A. S. (2012). Effect of copper oxide nano particle on seed germination of selected crops. *J. Agric. Sci. Technol. A 2*, 815–823. doi: 10.17265/2161-6256/2012.06A.009.
- Auffan, M., Rose, J., Bottero, J. Y., Lowry, G. V., Jolivet, J. P., and Wiesner, M. R. (2009). Towards a definition of inorganic nanoparticles from an environmental, health and safety perspective. *Nat. Nanotechnol. 4*, 634–641. doi: 10.1038/nnano.2009.242.
- Cano, A. M., Kohl, K., Deleon, S., Payton, P., Irin, F., Saed, M., ..Shah, Green, M., & Cañas-Carrell, J. E. (2016). Determination of uptake, accumulation, and stress effects in corn (*Zea mays* L.) grown in single-wall carbon nanotube contaminated soil. *Chemosphere*, 152, 117-122.
- Carmona-Hernández, d., trejo-calzada, r., esquivel-arriaga, o., arreola-ávila, j. g., & flores-hernández, a. (2007). Evaluación de un método para medir fotosíntesis en mezquite (*Prosopis glandulosa*). *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 6, 185-190.
- Chalker-Scott, L. (1999). Environmental significance of anthocyanins in plant stress responses. *Photochemistry and photobiology*, 70(1), 1-9.
- Christie, P. J., Alfenito, M. R., & Walbot, V. (1994). Impact of low-temperature stress on general phenylpropanoid and anthocyanin pathways: enhancement of transcript abundance and anthocyanin pigmentation in maize seedlings. *Planta*, 194(4), 541-549.
- Cvjetko, P., Milošić, A., Domijan, A. M., Vinković, I., Tolić, S., Peharec-Štefanić, P., Letofsky-Papst, I., Tkalec, M., Balen, B. (2017). Toxicity of silver ions and differently coated silver nanoparticles in *Allium cepa* roots. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 137, 18–28. doi: 10.1016/j.ecoenv.2016.11.009
- Ghorbanpour, M., Hadian, J., 2015. Multi-walled carbon nanotubes stimulate callus induction, secondary metabolites biosynthesis and antioxidant capacity in medicinal plant *Satureja khuzestanica* grown in vitro. *Carbon 94*, 749–759.
- Gu, X., Cai, W., Fan, Y., Ma, Y., Zhao, X., & Zhang, C. (2018). Estimating foliar anthocyanin content of purple corn via hyperspectral model. *Food science & nutrition*, 6(3), 572-578.
- Hatami, M., Kariman, K., & Ghorbanpour, M. (2016). Engineered nanomaterial-mediated changes in the metabolism of terrestrial plants. *Science of the total environment*, 571, 275-291.
- Joner, E. J., Hartnik, T., and Amundsen, C. E. (2008). Norwegian Pollution Control Authority Report no. TA 2304/2007. Bioforsk; Environmental fate and ecotoxicity of engineered nanoparticles, 1–64.
- Kato, T. A., Mapes, C., Mera, L. M., Serratos, J. A., & Bye, R. A. (2009).



- Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, DF, 116.
- Lahiani, M. H., Dervishi, E., Chen, J., Nima, Z., Gaume, A., Biris, A. S., & Khodakovskaya, M. V. (2013). Impact of Carbon Nanotube Exposure to Seeds of Valuable Crops. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 5(16), 7965–7973. doi:10.1021/am402052x.
- Mirzajani, F., Askari, H., Hamzelou, S., Farzaneh, M., and Ghassempour, A. (2013). Effect of silver nanoparticles on *Oryza sativa* L. and its rhizosphere bacteria. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 88, 48–54. doi: 10.1016/j.ecoenv.2012.10.018.
- Moharramnejad, S., Sofalian, O., Valizadeh, M., Asghari, A., Shiri, M. R., Ashraf, M (2019). Response of maize to field drought stress: oxidative defense system, osmolytes'accumulation and photosynthetic pigments. *Pak. J. Bot.* 51(3), 799-807.
- Naczka, M., & Shahidi, F. (2004). Extraction and analysis of phenolics in food. *Journal of chromatography A*, 1054(1-2), 95-111.
- Nava, S. C., Ortiz, V. H. R., & Huerta, A. J. (2012). Uso de la termoestabilidad de la membrana celular para la estimación de la tolerancia al calor en maíz. *Interciencia*, 37(12), 921-926.
- Rastogi, A., Zivcak, M., Sytar, O., Kalaji, H. M., He, X., Mbarki, S., & Brestic, M. (2017). Impact of metal and metal oxide nanoparticles on plant: a critical review. *Frontiers in chemistry*, 5, 78.
- Servin, A., Elmer, W., Mukherjee, A., De la Torre-Roche, R., Hamdi, H., White, J. C., Prem, B & Dimkpa, C. (2015). A review of the use of engineered nanomaterials to suppress plant disease and enhance crop yield. *Journal of Nanoparticle Research*, 17(2), 92.
- Shaw, A. K., Ghosh, S., Kalaji, H. M., Bosa, K., Brestic, M., Zivcak, M., Zahed H (2014). Nano-CuO stress induced modulation of antioxidative defense and photosynthetic performance of syrian barley (*Hordeum vulgare* L.). *Environ. Exp. Bot.* 102, 37–47. doi: 10.1016/j.envexpbot.2014.02.016.
- Song, G., Hou, W., Gao, Y., Wang, Y., Lin, L., Zhang, Z., Niu, Q., Ma, R., Mu, L., Wang. H., (2016). Effects of CuO nanoparticles on *Lemna minor*. *Bot. Stud.* 57:3. doi: 10.1186/s40529-016-0118-x.
- Tripathi, D. K., Singh, S., Singh, S., Srivastava, P. K., Singh, V. P., Singh, S., Prasad, SM., Singh, PK., Dubey, NK., Pandey, AC., Chauhan, DK., (2017). Nitric oxide alleviates silver nanoparticles (AgNps)-induced phytotoxicity in *Pisum sativum* seedlings. *Plant Physiol. Biochem.* 110, 167–177. doi: 10.1016/j.plaphy.2016.06.015.
- Tripathi, D. K., Singh, V. P., Prasad, S. M., Chauhan, D. K., and Dubey, N. K. (2015). Silicon nanoparticles (SiNp) alleviate chromium (VI) phytotoxicity in *Pisum sativum* (L.) seedlings. *Plant Physiol. Biochem.* 96, 189–198. doi: 10.1016/j.plaphy.2015.07.026.
- Valle Campos, M., García Ceccarelli, J., Laos Anchante, D., Yarasca, C. E., Loyola Gonzales, E., & Surco-Laos, F. (2019). Análisis proximal y cuantificación de antocianinas totales en *Zea mays* variedad morada sometido a diferentes procesos de secado. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 85(1), 109-115.
- Yang, J., Cao, W., & Rui, Y. (2017). Interactions between nanoparticles and plants: phytotoxicity and defense



- mechanisms. *Journal of plant interactions*, 12(1), 158-169.
- García-López, J., Zavala-García, F., Olivares-Sáenz, E., Lira-Saldívar, R., Díaz Barriga-Castro, E., Ruiz-Torres, N., ... & Niño-Medina, G. (2018). Zinc oxide nanoparticles boosts phenolic compounds and antioxidant activity of *Capsicum annum* L. during germination. *Agronomy*, 8(10), 215.
- Sade, N., Galkin, E., & Moshelion, M. (2015). Measuring arabidopsis, tomato and barley leaf relative water content (RWC). *Bio-Protocol*, 5(7), 1451.*
- Vazquez-Olivo, G.; López-Martínez, L. X.; Contreras-Angulo, L.; Heredia, J. B. Antioxidant Capacity of Lignin and Phenolic Compounds from Corn Stover. *Waste and Biomass Valorization* 2019, 10 (1), 95–102.
<https://doi.org/10.1007/s12649-017-0028-5>.
- Hernández, M., Ventura, J., Castro, C., Boone, V., Rojas, R., Ascacio-Valdés, J., & Martínez-Ávila, G. (2018). Uplc-esi-qtof-ms2-based identification and antioxidant activity assessment of phenolic compounds from red corn cob (*Zea mays* L.). *Molecules*, 23(6), 1425..
- Ritchie, S. W. (2002). *Cómo se desarrolla una planta de maíz* (No. Folleto 16954).



Fertilización orgánica e inorgánica en la producción de tres variedades de trigo harinero y su relación con la calidad del grano

Octavio Espinoza-Inzunza¹, José Elías Treviño-Ramírez¹, Rigoberto E. Vázquez-Alvarado¹, Juan Antonio Vidales-Contreras¹, Guillermo Niño-Medina¹, Jesús Andrés Pedroza-Flores¹.

¹Facultad de Agronomía, UANL. Av. Francisco Villa S/N, col. Ex Hacienda el Canadá, tel. (81) 1340 4399. Email: octavio.espinozainz@uanl.edu.mx

Resumen: El trigo (*Triticum aestivum* L.) forma parte del desarrollo económico y cultural del ser humano, siendo uno de los cereales más cultivados a nivel mundial, es considerado un alimento fundamental para el consumo humano. Se cultiva en todo el mundo siendo su principal área de cultivo la zona templada del hemisferio norte, en Nuevo León se cultivan más de 23,000 ha al año con un rendimiento promedio de 2.202 t.ha⁻¹, en el presente trabajo se evaluarán las interacciones de los factores: genotipo, fertilización, fecha de siembra y su relación con la calidad del grano, el experimento se llevará a cabo en el Campo Agrícola experimental de la FAUANL en el municipio de Aramberri Nuevo León, se establecerá el cultivo en dos fechas de siembra para evaluar el comportamiento de los tres efectos mencionados relacionando directamente con calidad de grano utilizando un diseño experimental de bloques al azar en parcelas sub-divididas.

Palabras clave: *Triticum aestivum* L., genotipo, fertilización, calidad del grano.

Abstract: Wheat has been part of the economic and cultural development of the human being, being one of the most cultivated cereals worldwide, it is a fundamental food for human consumption. It is cultivated throughout the world with its main cultivation area being the temperate zone of the northern hemisphere, in Nuevo León it cultivates more than 23,000 ha per year with an average yield of 2,202 t.ha⁻¹, in this work the interactions will be evaluated of the factors: genotype, fertilization, sowing date and its relationship with the quality of the grain, the experiment will be carried out in the FAUANL experimental agricultural field in the municipality of Aramberri Nuevo León, the crop will be established on two dates of sowing in order to evaluate the behavior of the three effects related to the direct grain quality ratio using an experimental design of random blocks in sub-divided plots.

Keywords: *Triticum aestivum* L., genotype, variety, fertilization, grain quality

Introducción

Desde la antigüedad el hombre se ha interesado por la respuesta de las plantas al ambiente, y ha llegado a la conclusión de que sus esfuerzos deben concentrarse en la creación de las condiciones necesarias para asegurar el crecimiento y desarrollo normales de las plantas, como medio para

lograr, además de elevados rendimientos en la producción agrícola, el mejoramiento de la calidad en sus cosechas. Los consumidores actuales no solo requieren de una amplia variedad de productos vegetales, si no que exigen, además que dichos productos se obtengan siguiendo normas de calidad cada vez más estrictas.



La producción de cultivos, un proceso directamente relacionado con el crecimiento, es una función del suelo, el clima, y el manejo, principalmente, y la manera de cómo estos factores influyen en la producción es a través de mecanismos muy diversos. Dado que los procesos involucrados en el crecimiento son numerosos, así también, son muchos los factores mediante los cuales son influenciados y controlados los distintos procesos. Como factores del crecimiento se consideran a todos aquellos agentes físicos, químicos y bióticos que pueden influenciar el crecimiento de las plantas, desde la germinación hasta la cosecha.

De todos los factores que influyen sobre el crecimiento y producción de las plantas cultivadas, la nutrición vegetal, sin lugar a dudas, es uno de los que pueden ser más determinantes. Esta disciplina de la fisiología vegetal y de la ciencia del suelo se ocupa de estudiar los procesos involucrados en la absorción y asimilación de nutrimentos por las plantas superiores, así como de los factores que los afectan y su relación con la producción y calidad de las cosechas.

La nutrición vegetal, nutrición de cultivos o nutrición mineral, nombres con los que se conoce la disciplina, ha de dar respuesta a una serie de interrogantes que frecuentemente se plantean en relación a los requerimientos nutricionales de las distintas especies de interés agrícola, como; ¿cuáles nutrimentos son limitantes en distintos agro sistemas?, ¿en qué cantidad?, ¿en qué forma química?, ¿en qué estado fenológico?, ¿Cómo se absorben y transportan?, ¿Cómo afectan la producción y la calidad?. Cuando se disponga de la información para responder a estas preguntas, se estará en posición ventajosa para tomar decisiones acerca del manejo nutricional de cada cultivo en particular, con la alta probabilidad de éxito.

El cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) en México se coloca como el décimo cultivo

más importante al tener importante contribución en el valor de la producción agrícola nacional. Entre 2017 y 2019 la superficie promedio dedicada a dicho cereal alcanzó 532,036 hectáreas, con una producción volumen de 3.1 millones de toneladas promedio anuales véase información el Cuadro 1, (SIAP, 2019).

El trigo grano ocupó la séptima posición por la superficie sembrada en México durante el año agrícola 2017, con una participación de 3.1 por ciento, en tanto, con 13,289 millones de pesos, ocupó la décima posición en el valor total de la producción agrícola nacional, con una participación de 2.3 por ciento.

De acuerdo con información de la Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios (ASERCA), con base en información del Padrón del Programa de Fomento a la Agricultura, Componente PROAGRO Productivo, el número de productores dedicados al cultivo de trigo en México se ubica en 42,957, 65.4 por ciento de los cuales se ubican en cinco entidades del país: Guanajuato (19.4 por ciento), Michoacán (16.8 por ciento), Sonora (13.5 por ciento), Tlaxcala (9.2 por ciento) y Sinaloa (6.4 por ciento). La superficie promedio por productor varía por entidad federativa, desde 0.9 hectáreas en Chiapas hasta 40.2 hectáreas en Sonora. (SIAP, 2019).

Durante el ciclo comercial 2017/18, el consumo de trigo panificable en México se ubicó en 6.30 millones de toneladas. El 75.1 por ciento del consumo se abasteció a través de importaciones. Para el ciclo comercial 2018/19 se proyecta un crecimiento de 1.2 por ciento en el consumo de este tipo de trigo, que se ubicaría en 6.37 millones de toneladas, de ahí la importancia de aumentar la producción y rendimientos del cultivo, con diferentes tecnologías agronómicas como lo son los mejoradores de suelo. (SIAP, 2019).



Cuadro 1. Producción de trigo en 3 ciclos agrícolas a nivel nacional y el estado de Nuevo León. (SIAP, 2019).

Producto	Sembrada	Siniestrada	Cosechada	Obtenida	Rendimiento
Trigo	ha	ha	ha	(ton)	ton/ha
2019	529,506	6,649	523,135	3,148,261	6.018
2018	467,319	1,322	465,997	2,802,008	6.013
2017	599,282	2,838	596,444	3,366,164	5.644
Promedio	532,036	3,603	528,525	3,105,478	6
Nuevo León	23,211	22,751	460	50,108	2.202

Nuevo León registró 23 mil 211 hectáreas de superficie sembrada de trigo, de las cuales 22 mil 751 fueron cosechadas logrando una producción de 50 mil 108 toneladas con un rendimiento de 2.202 t.ha⁻¹ (Cuadro 1). Los municipios con mayor producción fueron: General Terán, Cadereyta Jiménez, Pesquería, China-Los Ramones, Anahuac, Cerralvo y Montemorelos respectivamente según Sagarpa con información de los principales productores de Nuevo León.

Una buena producción agrícola depende directamente de la disponibilidad de suelos capaces de desarrollar cultivos con buenos rendimientos. Estos son solo algunos de los factores que deben tomarse en cuenta para lograr un nivel adecuado de fertilidad del suelo:

Una de las medidas utilizadas por los agricultores para mantener y mejorar la fertilidad natural de los suelos es la aplicación de fertilizantes de acuerdo con las necesidades nutritivas de los suelos y de los cultivos (Tisdale, y Nelson, 1987).

La sociedad cada vez está más interesada en reducir el daño al ambiente causado por actividades agrícolas, sobre todo con respecto a riesgos de salud que son el resultado del uso desmedido de agroquímicos. La agricultura convencional empezó a ser cuestionada, y en el campo agrícola se están produciendo cambios, que reviertan el deterioro y los efectos dañinos de los pesticidas en general (Van Bruggen, 1995 citado por Bettiol *et al.*, 2004). Velasco

et al. (2001) resaltan la importancia de implementar técnicas de producción agrícola enfocadas al uso eficiente de recursos que tiende hacia una agricultura sostenible. En este sentido, la aplicación de abonos orgánicos, son alternativas que pueden emplearse en la producción agrícola.

Se han desarrollado muchos sistemas de producción alternativos, estableciéndose entre ellos, la agricultura orgánica, la certificación en muchos países. La agricultura orgánica es caracterizada por la ausencia de fertilizantes sintéticos y pesticidas, además de la utilización frecuente de fuentes de materia orgánica para mantener la fertilidad en la tierra. (Van Bruggen, 1995 citado por Bettiol *et al.*, 2004).

La multifuncionalidad de los microorganismos en los sistemas agrícolas se expresa de acuerdo a una serie de factores bióticos, como la competencia con otros microorganismos, la composición biológica del suelo, el reconocimiento planta microorganismo y viceversa. Igualmente, factores abióticos, como la climatología, las características físicas y químicas del suelo, que influyen directamente en el tipo de interacción de estos organismos y la expresión de los efectos benéficos o perjudiciales, determinantes en el desarrollo de las especies vegetales (Marschner & Timonen, 2005; Harman, 2006; Hoitink *et al.* 2006; Siddiqui & Akhtar, 2008; Radjacommare *et al.* 2010).

De los elementos minerales, el nitrógeno, fósforo y potasio son los elementos provenientes del suelo que se presentan en mayor concentración en los vegetales; estos elementos participan de los procesos de crecimiento como componentes estructurales y funcionales. De entre estos, el nitrógeno es un elemento esencial siendo el elemento del suelo más absorbido por las



plantas en condiciones normales de cultivo. Por esta razón, también es el componente que con más asiduidad se encuentra de manera deficiente en la mayoría de los cultivos en todas las partes del mundo. El nitrógeno tiene influencia en la floración y fructificación y, por ende, en el rendimiento del cultivo (Perdomo et al., 1994; Mengel & Kirkby, 1987). El nitrógeno puede ser absorbido por las plantas en la forma de nitrato (NO_3) o amonio (NH_4^+), la forma preferencial en la absorción de este elemento, ya sea nítrica o amoniacal, difiere entre las especies vegetales (Black, 1986; Molina, 2002). El fertilizante que se utilizará en la presente investigación será una determinada dosis de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ y $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$.

Objetivo general

Evaluar los efectos de la aplicación de fertilizantes orgánicos (gallinaza y nitrobac plus) e inorgánicos (sulfato de amonio y súper fosfato de calcio triple) y las fechas de siembra sobre parámetros agronómicos en el cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) y la calidad nutricional de los granos producidos.

Hipótesis

La aplicación de fertilizantes orgánicos (gallinaza y nitrobac plus) e inorgánicos (sulfato de amonio y súper fosfato de calcio triple), y las fechas de siembra afectan los parámetros agronómicos asociados con el rendimiento del cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.), además de modificar la calidad nutricional del grano.

Materiales y Métodos:

Material genético: Las variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.) a establecer en el experimento son las siguientes:

- 1) Floreña NL M-2012
- 2) San Isidro NL M2012
- 3) Monarca

Lugar de estudio: Facultad de Agronomía – UANL, Campus agrícola experimental

Unidad La Ascensión, ubicado en Carretera a Sandia Km. 2, Ejido La Ascensión, en el municipio de Aramberri, Nuevo León, con una altitud de 1963 msnm., coordenadas $24^\circ 19'$ latitud norte y $99^\circ 54'$ longitud oeste con una temperatura y precipitación promedio anual de 19.9°C y 425 mm, respectivamente (INEGI, 2017).

Etapas 1. Establecimiento de experimentos en campo

Los experimentos se realizarán en dos fechas de siembra, específicamente la siembra se realizará el 28/Mayo/2020 (fecha 1) y 16/Junio/2020 (fecha 2).

El acomodo de las parcelas será conforme al diseño experimental de bloques completamente al azar con un arreglo en parcelas subdivididas.

Los tratamientos se conformarán con la combinación de genotipo x fertilización.

La parcela experimental estará integrada por cuatro surcos de 5 metros de largo separados a 0.45 cm.

Cuadro 2. Tratamientos a evaluar con la combinación de tres variedades con 3 productos fertilizantes diferentes y un testigo absoluto, en dos fechas de siembra.

Fertilización	Variedades	Fecha de siembra
1. Testigo	Monarca	
2. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 80 Kg/Ha y $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 40 Kg/Ha	Floreña NL M-2012	1 y 2
3. Inoculante orgánico (Nitrobac plus) 0.5 L/Ha	M 2012 San Isidro	
4. Gallinaza Meyfer (1 t ha ⁻¹).		



Las distribuciones de las parcelas asignadas para cada repetición se muestran en el cuadro 3.

Cuadro 3. Croquis de las parcelas donde quedarán establecidos los tratamientos (genotipo x fertilización) en 4 repeticiones.

Repetición 4					Repetición 3				
Var 2	P37	P38	P39	P40	P25	P26	P27	P28	Var 1
Var 3	P44	P43	P42	P41	P32	P31	P30	P29	Var 2
Var 1	P45	P46	P47	P48	P33	P34	P35	P36	Var 3
Repetición 1					Repetición 2				
Var 3	P9	P10	P11	P12	P21	P22	P23	P24	Var 1
Var 2	P8	P7	P6	P5	P20	P19	P18	P17	Var 3
Var 1	P1	P2	P3	P4	P13	P14	P15	P16	Var 2

En el cuadro 4 se describen los tratamientos con diferentes formas de fertilización incluyendo el testigo absoluto los cuales se aleatorizarán de acuerdo al acomodo de las parcelas del cuadro 3.

Cuadro 4. A continuación se describen los tratamientos combinando variedad, tipo de fertilizante.

No. Tratamiento	Variedad	Fert Org/Inor
1	1	Testigo
2	1	Fert. Inorgánico
3	1	Inoculante orgánico
4	1	Fert. Orgánico gallinaza
5	2	Testigo
6	2	Fert. Inorgánico
7	2	Inoculante orgánico
8	2	Fert. Orgánico gallinaza
9	3	Testigo
10	3	Fert. Inorgánico
11	3	Inoculante orgánico
12	3	Fert. Orgánico gallinaza

El experimento se llevará a cabo solamente con una densidad de siembra para las tres variedades de trigo harinero 100 kg de semilla ha⁻¹

Los detalles de metodología presentes a continuación serán iguales para ambas fechas de siembra.

Para el análisis de suelo se tomaron muestras del terreno en el cual se sembrará

el cultivo de trigo, dichas muestras se tomaron con una barrena en forma de zigzag aleatoriamente sobre el terreno. Aproximadamente 2 kg de tierra fueron los obtenidos y mezclados para la realización de dicho análisis. La muestra de suelo se llevó al laboratorio de la Universidad Autónoma de Nuevo León campus Marín para su respectivo análisis. El pH que presentó el suelo en el análisis fue de 8.1 lo que da como resultado a moderadamente alcalino, este análisis se realizó con un potenciómetro. La conductividad eléctrica que presentó el suelo del experimento fue de 1.50 Ms , el rango va de 0.0 a 2.0 Ms lo cual dio como resultado a ser no salino. La concentración de N total se obtuvo por el método de semi micro Kjeldahl modificado para incluir nitratos, de acuerdo al procedimiento de rutina del laboratorio de Suelos de la Universidad Autónoma de Nuevo León campus Marín (Etchevers, 1988). La extracción de nitrato y amonio, del suelo se realizó con KCl 2N y su destilación por arrastre de vapor Bremner, (1965). Para la determinación de materia orgánica del suelo se siguieron los siguientes procedimientos: Se Pulverizó en mortero 10 g de muestra del suelo, de forma que el polvo resultante pasó por un tamiz de 0,2 mm. Se pesó entre 0,5 de muestra en un matraz erlenmeyer de 250 mL. Se añadieron 10 mL de solución 1 N de dicromato potásico (R-1), imprimiendo un movimiento de giro al erlenmeyer para asegurar una mezcla íntima. Después se añadió lentamente y agitando, 20 mL de ácido sulfúrico concentrado (R-2). Se agitó suavemente para asegurar el contacto íntimo de los reactivos con la muestra. Se evitó que se adhieran partículas en las paredes del erlenmeyer fuera del contacto de la solución. Se dejó el matraz erlenmeyer en reposo durante 20 minutos. Se añadieron 100 mL de agua desmineralizada y se dejó enfriar. Se añadieron 10 mL de ácido fosfórico concentrado (R-5). Se añadieron 5 gotas del indicador (difenilamina) (R-4). Se valoró con



la solución ferrosa (R-3), anotando el volumen gastado. (Viraje de azul oscuro a verde). Previamente se realizó un ensayo en blanco con todos los reactivos menos el suelo.

Las variables relacionadas con rendimiento de grano y otras variables agronómicas a analizar en el cultivo de trigo serán: ancho de la raíz, largo de la raíz, número de granos por espiga, número de espiguillas por espiga, incidencia de la roya, peso de mil semillas, rendimiento del grano hectárea (t ha⁻¹), rendimiento del grano por (0.45m²), longitud de la espiga, días a cosecha, días a madurez fisiológica, días a floración, número de hojas por planta, número de tallos por metro lineal, número de macollos por planta, forraje seco por parcela y altura de la planta (m). Las anteriores variables se medirán de acuerdo a la metodología analizada por (Treviño-Ramirez,2005).

Análisis de calidad de grano

En la evaluación de grano se seguirán diversos parámetros para medir su calidad de acuerdo a la literatura de (Serna Saldívar. 1996). Dentro de ellos se encuentran los siguientes: Humedad, Pruebas de densidad, Peso de mil granos, Dureza del grano, Material extraño Micromolienda, Composición química, Ensayos reológicos en masas, Farinógrafo, Extensógrafo, Mixógrafo y Alveógrafo.

El análisis estadístico será realizado mediante el programa SPSS Statistics 22 (IBM, 2013), confirmando los resultados del experimento con el paquete informático de Diseños Experimentales Versión 1.7 (Olivares, 2016).

Análisis de suelos

Cálculos y expresión de resultados de Nitrógeno

Titulación HCl

Blanco=2 ml
R1= 17.1 ml
R2= 18 ml
Media=17.55 ml
Resta (Blanco-media) = 17.55-2= 15.55
$$\% N \text{ tot} = \frac{(M_{HCl}(0.001)) (0.00014) \times 100}{1}$$

$$\% N \text{ tot} = \frac{(15.55) (0.00014) \times 100}{1} = 0.2177 \%$$

Cuadro 5. Nitrógeno (%)	
0.000-0.050	Extremadamente Pobre
0.051-0.099	Pobre
0.100-0.149	Medianamente Pobre
0.150-0.199	Mediano
0.200-0.250	Medianamente Rico
> 0.250	Rico

En el cuadro 5. muestra que el porcentaje de Nitrógeno de la toma de muestra del lugar a sembrar en la FAUANL unidad Ascensión presenta un suelo medianamente rico en acumulación de porcentaje de N.

Cálculos y expresión de resultados de materia orgánica.

$$\% m.o. = (5 - (\text{ml gasto Fe SO}_4 * N \text{ Fe SO}_4)) * 0.69 / \text{g muestra}$$

$$N1V1 = N2V2$$

N1= Normalidad

N2= Normalidad dicromato

V1= Volumen

V2= Volumen dicromato

$$N1 = \frac{(N2 V2)}{V1}$$

$$N1 = \frac{(1N)(5ml)}{10.6 ml} = 0.47 N$$

$$\% M.o = (5 - (5.3 * 0.47)) * 0.69 / 0.5$$

$$\% M.o = 3.46 \longrightarrow \text{Mediano}$$



Cuadro 6. Materia orgánica %

<0.60	Muy bajo
0.60-1.8	Bajo
1.81-4	Mediano
4.01-6	Alto
>6.00	Muy alto

En el Cuadro 6 nos muestra el dato que el suelo que se utilizará para el experimento presenta una mediana concentración de materia orgánica.

Análisis de Fosforo (P)

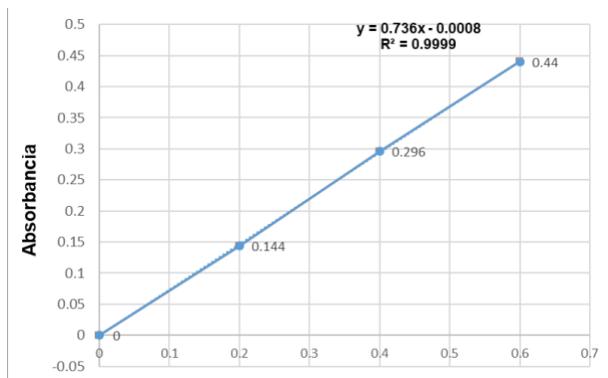


Fig.1: Curva de calibración para fósforo disponible por el método Olsen.

La figura 1 muestra la curva de calibración de fósforo disponible por el método Olsen utilizados en dicho análisis de laboratorio en el cual posee un factor de determinación con intervalos de concentración de (0.2-0.6) $\mu\text{g P/mL}$. Los resultados se ajustan a la ecuación de la recta con coeficientes de correlación de 0,9999. Se destaca que el análisis se realizó por triplicado de diluciones y para la gráfica se usó el programa Excel de Office 2016 para Windows 10.

La ecuación que nos da la curva de calibración es $Y = 0.736x - 0.0008$ para lo cual se despejó X y se sustituyó Y (factor de dilución) dentro de la ecuación.

Factor de dilución 1= 0.198-0.10

$$X = (0.198 + 0.0008) / 0.736 * 100 = 27.01 \text{ ppm}$$

Factor de dilución 2= 0.202-0.10

$$X = (0.202 + 0.0008) / 0.736 * 100 = 27.55 \text{ ppm}$$

Cuadro 7. Fósforo Extraíble (ppm)
(Olsen modificado)

0.0-2.0	Deficiente
2.1-12.0	Nivel crítico
12.1-80.0	Óptimo

Al observar el cuadro 7 se puede apreciar que los intervalos de concentración de Fósforo en el suelo son los óptimos para un buen desarrollo fisiológico del cultivo de trigo.

Resultados y discusión

Aún no se tienen resultados concretos debido a que el experimento se montará a finales de mayo 2020. La primera parte de los resultados con sus respectivos análisis estadísticos se obtendrán en el siguiente ciclo de seminarios.

Conclusiones

Aún no se puede llegar a una conclusión concisa debido a que no se tiene sembrado y montado el experimento, ya se tienen las bases científicas y técnicas para su posterior óptimo desarrollo.

Agradecimientos

A la Facultad de Agronomía (UANL) por otorgarme la oportunidad de llevar a cabo los estudios de posgrado en investigación.

A mi director de tesis, el Dr. José Elías Treviño Ramírez, por guiar con gran cuidado la planeación del proyecto, por brindarme la pauta y el apoyo académico necesario para la realización de la investigación.

A mis Co asesores: Ph.D. Rigoberto E. Vázquez, Ph.D. Juan Antonio Vidales Contreras, Dr. Guillermo Niño-Medina, M.C. Jesús Andrés Pedroza Flores, por sus



valiosos aportes y revisión del proyecto de investigación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el recurso económico otorgado para el desarrollo de mis actividades académicas.

Referencias Bibliográficas

- Bettiol, W., R. Ghini, J. A. Haddad and R. C. Siloto. 2004. Organic and conventional tomato cropping systems. *Sci. agric.* 61(3):253-259.
- Black, C. 1986. *Soil plant relationship*. 2nd ed. New York: John Wiley. 405 pp.
- Etchevers B., J. 1988. Análisis químico de suelos y plantas. Centro de Edafología, Colegio de Posgraduados. Montecillo, estado de México.
- Harman, G.E. 2006. Overview of mechanisms and uses of *Trichoderma* spp. *Phytopath.* 96:190-194.
- Hoitink, H.A.J.; Madden, L.V.; Dorrance, A.E. 2006. Systemic resistance induced by *Trichoderma* spp.: Interactions between the host, the pathogen, the biocontrol agent, and soil organic matter quality. *Phytopath.* 96:186-189.
- IBM Corp. (2013) IBM SPSS Statistics for Windows, Version 22.0. Armonk, NY: IBM Corp.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2017). Anuario Estadístico y Geográfico de Nuevo León. Recuperado de: http://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF_Docs/NL_ANUARIO_PDF.pdf
- Marschner, P.; Timonen, S. 2005. Interactions between plant species and mycorrhizal colonization on the bacterial community composition in the rhizosphere. *Applied Soil Ecology.* 28:23-36.
- Mengel, K. and Kirkby, E.A. (1987) *Principles of Plant Nutrition*. International Potash Institute, Worblaufen-Bern, Switzerland.
- Molina, E. 2002. Fuentes de fertilizantes foliares. Seminario de Fertilización foliar: Principios y Aplicaciones. Laboratorio de Suelos y Foliares en colaboración con la Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. Costa Rica. p. 26 – 35.
- Olivares Sáenz, E. (2016). Paquete computacional de Diseños Experimentales Versión 1.7. Facultad de Agronomía, U.A.N.L, Gral. Escobedo, N.L, México, s.p.
- Perdomo, C.; Barbazán, M.; Duran, J. 1994. Nitrógeno. Cátedra de Fertilidad. Facultad de Agronomía. Universidad de la Republica. Montevideo. Uruguay, 74 pp.
- Radjacommare, R.; venkatesan, S.; SAMIYAPPAN, R. 2010. Biological control of phytopathogenic fungi of vanilla through lytic action of *Trichoderma* species and *Pseudomonas fluorescens*. *Phytopathology and Plant Protection.* 43(1):1-17.
- Serna Saldivar. (1996). Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. México D.F.: A.G.T. Editor.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2019.
- Siddiqui, Z.A.; Akhtar, M.S. 2008. Synergistic effects of antagonistic fungi and a plant growth promoting rhizobacterium, an arbuscular mycorrhizal fungus, or composted cow manure on populations of *Meloidogyne incognita* and growth of tomato. *Biocontrol Sci. Techn.* 18(3):279-290.
- Tisdale, S.L. y W. L. Nelson, 1987. Fertilidad de los suelos y fertilizantes, Ed. UTEHA, México DF.
- Treviño Ramírez, J. E. (2005). Metodología para detectar resistencia a la roya de la corona (*Puccinia coronata* Cda.) en avena (*Avena sativa* L.) mediante



LII CICLO DE SEMINARIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
Y II JORNADA DE INVESTIGACIÓN DE ESTUDIANTES DE NIVEL SUPERIOR
1, 2 y 3 Junio 2020

técnicas in vivo e in vitro. Tesis
doctoral. Facultad de Agronomía.
Universidad Autónoma de Nuevo
León. 320 p.



Potencial alelopático de extractos vegetales de dos especies, para el control de malezas en maíz

Odlanier Pantoja-Arrechea¹, José Elías Treviño-Ramírez¹, Guillermo Cristian Martínez-Ávila¹, Francisco Zavala-García¹, Emilio Olivares-Sáenz¹ y Jesús Andrés Pedroza-Flores¹.

¹Facultad de Agronomía, UANL. Av. Francisco Villa S/N, Col. Ex Hacienda el Canadá, 66054 Gral. Escobedo, Nuevo León, México. Email: odlainer.pantojarr@uanl.edu.mx

Resumen: La producción de maíz (*Zea mays* L.) en México muestra un crecimiento a través del tiempo debido al aumento de la demanda y su importancia en la alimentación humana y animal. Un factor a tener en cuenta es la presencia de malas hierbas; por su influencia en la reducción del rendimiento. El objetivo de esta investigación es evaluar el efecto de los extractos acuoso y etanólico de las especies *Parthenium hysterophorus* L. y *Helianthus annuus* Biut. Los métodos de extracción a evaluar son por maceración y por ultrasonido asistido (sonicación) para obtener dos extractos acuosos y dos etanólicos, para caracterizar metabolitos como: alcaloides, taninos, polifenoles, etc. De estos extractos, se aplicarán tratamientos a los 30 días a la par con los herbicidas sintéticos y otros en dos dosis: a los 30 y 45 días después de la siembra del cultivo, en charolas sembradas con malezas (en invernadero) y en campo.

Palabras clave: *Parthenium hysterophorus* L., *Helianthus annuus* Biut, herbicida, control químico.

Abstract: The production of maize (*Zea mays* L.) in Mexico shows growth over time due to increased demand and its importance in human and animal nutrition. One factor to consider is the presence of weeds due to its influence on performance reduction. The objective of this research is to evaluate the effect of the aqueous and ethanolic extracts of the *Parthenium hysterophorus* L. and *Helianthus annuus* Biut species. The extraction methods to be evaluated are by maceration and by assisted ultrasound (sonication) to obtain two aqueous and two ethanolic extracts, to characterize metabolites such as: alkaloids, tannins, polyphenols, etc. Of these extracts, treatments will be applied at 30 days on a par with synthetic herbicides and others will be applied in two doses: at 30 and 45 days after planting the crop, in trays sown with weeds (in the greenhouse) and in countryside.

Keywords: *Parthenium hysterophorus* L., *Helianthus annuus* Biut, herbicide, chemical control.

Introducción:

El maíz (*Zea mays* L) es un cultivo muy remoto de unos 8000 años de antigüedad, originario del Municipio de Coxcatlán, en el Valle de Tehuacán, Estado de Puebla, en el centro de México. Este valle se caracteriza por la sequedad de su clima, con un promedio anual de lluvia muy

reducido; alberga principalmente especies vegetales y animales propias de tierra caliente y seca (Martínez *et al* 2018). La región cuenta con numerosos cultivos endémicos, lo que la convierte en un territorio "único". Hoy día está muy difundido por todo el resto de los países, América Central, Brasil y en especial en toda Europa donde ocupa una posición



muy elevada. EEUU es otro de los países que destaca por su alta tecnología en el manejo de este cultivo.

Un factor que afecta el rendimiento de este cultivo es la presencia de malezas, también llamadas plantas arvenses que según Labrada (2003) estas pueden reducir hasta el 100 % de la producción del cultivo; colocando en riesgo la seguridad alimenticia. Estas plantas crecen en campos agrícolas, compitiendo con los cultivos por Luz, agua, nutrientes y espacio; el efecto mayor ocasionado por estas especies se da durante el periodo crítico de competencia y al no controlarse de forma eficiente reduce el rendimiento y calidad del grano de la cosecha. (Moreno, 2017).

La utilización de productos químicos según el esquema tradicional y como única herramienta de manejo de malezas ha demostrado ser dañina, debido al desarrollo de resistencia en las malezas y sus efectos adversos sobre el medio ambiente (González, 2011). Los científicos de todo el mundo están buscando métodos alternativos de manejo de malezas (Topal *et al.*, 2006). Cuando se realizan aplicaciones intensivas y repetidas de herbicidas y es eficaz para una maleza específica, da lugar a varios efectos negativos, tales como la evolución de las malas hierbas resistentes (Ortiz *et al.*, 2014; Rosario *et al.*, 2013). Los efectos residuales en los siguientes cultivos, y la desaparición de algunas malas hierbas susceptibles, que afecta a la biodiversidad vegetal de malezas y la contaminación del medio ambiente Martínez *et al.* (2015). Esta situación de deterioro sugiere que se requiere una agricultura respetuosa para reducir la dependencia únicamente de herbicidas químicos sintéticos para el control de malezas (Reyes *et al.*, 2015). La alelopatía durante largo tiempo se ha reconocido como una guerra química

entre las especies de plantas (Muñiz, 2017).

Es poco probable que la alelopatía por si sola puede reemplazar totalmente a otras prácticas de control de malezas ya que su efectividad es influenciada por muchos factores. Sin embargo, una reducción del uso de los herbicidas será un beneficio para los agricultores y también reducirá el impacto en el ambiente Torres *et al.*, (2008).

Los aleloquímicos producidos por las plantas son liberados al ambiente como medio de defensa, se encuentran en cualquier parte de la planta, inhiben la germinación y crecimiento, eliminan la competencia de otras especies. Esta capacidad alelopática es interesante ya que puede utilizarse en agricultura como fuente de herbicidas (García. 2014).

La utilización de extractos de plantas con características alelopáticas es una opción ya que los compuestos bioactivos son biodegradables y su utilización puede contrarrestar el impacto ambiental negativo ocasionado por productos químicos. (Khan, 2015).

Los extractos acuosos y etanólicos son fuente interesante para la obtención de compuestos orgánicos con actividad bioherbicida, sus características estructurales y químicas pueden ayudar a reducir la presencia de malezas que hayan generado resistencia a herbicidas químicos. (Gomaa y AbdElgawad., 2012).

Los extractos de origen vegetal se caracterizan por la presencia de determinados metabolitos secundarios los cuales forman parte de las estrategias defensivas de las plantas, y que pueden ser agrupados en compuestos nitrogenados, fenólicos y terpenoides. Dichos compuestos le proporcionan



importantes características a los extractos, como son antialimentarios, antivirales, antimicrobianos, repelentes, inhibidores de germinación de semillas que permiten su utilización para proteger los cultivos e incrementar la calidad y su producción alimentaria, ya que tienen la propiedad de ser menos tóxicos y más fácilmente degradables (Philogene *et al.*, 2004).

El método de maceración es un proceso físico-químico del cual se pueden extraer compuestos fenólicos, antocianinas, taninos entre otras sustancias (Casassa, *et al.*, 2006). Zamorano, (2006) hace referencia que el método de extracción se realiza a temperatura ambiente y consiste en sumergir el material vegetal previamente macerado en un solvente.

Hipótesis general

Extractos acuosos y etanólicos de malezas con potencial alelopático actuarán como bioherbicidas para controlar malas hierbas en el cultivo de maíz.

Hipótesis específica

El uso del herbicida sintético y los extractos acuosos y etanólicos, realizarán un control de las especies: Quelite espinoso (*Amaranthus spinosus* L), Chayotillo (*Xanthium strumarium* L), flor amarilla (*Helianthus laciniatus* A. Gray) sembradas en charolas con plántulas del cultivo del maíz.

Objetivo general:

Evaluar el efecto de los extractos acuosos y etanólicos de las especies Hierba Amargosa (*Parthenium hysterophorus* L.) y Girasol malezas (*Helianthus annuus* Biut.), en el control de Malezas en Maíz (*Zea mays*. L).

Objetivos Específicos:

Realizar la extracción y clasificación de metabolitos secundarios presente en las muestras de cada especie de maleza utilizadas para obtener los extractos vegetales

Evaluar el efecto alelopático de dos extractos de las malezas sobre las especies Quelite espinoso (*Amaranthus spinosus* L), Chayotillo (*Xanthium strumarium* L), flor amarilla (*Helianthus laciniatus* A. Gray) y el maíz sembrado en charolas en el invernadero de la FAUANL Gral. Escobedo, N. L.

Evaluar el efecto Químico de dos aplicaciones de extractos vegetales de dos especies de malezas, con potencial alelopático, sobre malezas y plantas cultivadas de Maíz (*Zea mays*. L), en campo.

Materiales y Métodos

El presente trabajo se realizará en tres Etapas: En la primera etapa se realizará la clasificación de metabolitos secundarios y la obtención de los extractos de las malezas con características alelopáticas para obtener los extractos acuosos y etanólicos; de las arvenses: Hierba Amargosa (*Parthenium hysterophorus* L.) y girasol (*Helianthus annuus* Biut.). Los Métodos de extracción a utilizar son: extracción asistida por ultrasonido (sonicación) y el método por maceración. Para extraer los metabolitos Secundarios (Ordoñez *et al.*, 2006).

La obtención de los extractos se realizará en el Laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, campus de Ciencias Agropecuarias Ex hacienda el Canadá Escobedo Nuevo León.



En los meses de Enero y Febrero de 2020 se realizó la colecta de malezas en el Campo Agrícola Experimental de la FAUANL ubicado en carretera Zuazua-Marín Km 17.5 en el Municipio de Marín, Nuevo León, dicha colecta se realizó tomando material verde en cantidad de 8 kg de peso fresco de plantas completas de las especies Hierba Amargosa (*Parthenium hysterophorus* L.) y girasol (*Helianthus annuus* Biut.), para realizar los extractos acuosos y etanólicos. Estas plantas fueron lavadas con agua corriente, luego con agua destilada y se les desecharon las partes secas y las raíces. Luego fueron colocadas en bandejas de aluminio para ponerlas a la estufa por 24 horas a una temperatura de 50 °C; transcurrido el tiempo de secado se usó una máquina de molino eléctrico para triturar el material vegetal y el tamaño de partícula fue estimado entre un rango de 2–5 mm. Finalmente, el polvo obtenido se almacenó en bolsas de plástico a temperatura ambiente y bajo condiciones de oscuridad hasta su uso.

También se realizó la colecta de semillas de las especies Quelite espinoso (*Amaranthus spinosus* L), Chayotillo (*Xanthium strumarium* L) y flor amarilla (*Helianthus laciniatus* A. Gray) las cuales se sembrarán en el experimento 1 en charolas plásticas.

En la segunda etapa se sembrara el Maíz (híbrido: H-7573 de Asgrow) en el experimento 1 al igual que las semillas de las especies de malezas Quelite espinoso (*Amaranthus spinosus* L), Chayotillo (*Xanthium strumarium* L) y flor amarilla (*Helianthus laciniatus* A. Gray), en el mes de julio en charolas plásticas en el área de invernaderos, ubicados en la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, campus de Ciencias Agropecuarias Ex hacienda el Canadá Escobedo Nuevo León.

Utilizando un diseño experimental de completamente al azar con 10 tratamientos y cuatro repeticiones; utilizando una charola como parcela experimental.

A continuación, se describen los tratamientos, para el control de malas hierbas

Tratamientos: Con número y Descripción:

- 1- Testigo sin control
- 2- Herbicida Sintético (Químico).
- 3- Extracto acuoso al 10% de *Parthenium hysterophorus* L, aplicado a los 30 días.
- 4- Extracto acuoso al 10% de *Parthenium hysterophorus* L, aplicado a los 30 y 45 días.
- 5- Extracto etanólico al 10% de *Parthenium hysterophorus* L, aplicado a los 30 días.
- 6- Extracto etanólico al 10% de *Parthenium hysterophorus* L, aplicado a los 30 y 45 días.
- 7- Extracto acuoso al 10% de *Helianthus annuus* Biut, aplicado a los 30 días.
- 8- Extracto acuoso al 10% de *Helianthus annuus* Biut, aplicado a los 30 y 45 días.
- 9- Extracto etanólico al 10% de *Helianthus annuus* Biut, aplicado a los 30 días.
- 10- Extracto etanólico al 10% de *Helianthus annuus* Biut, aplicado a los 30 y 45 días.

El herbicida (Químico-sintético) a utilizar será: El 2,4 – D amina en una dosis de 4ml por litro de agua.

A continuación, se describe el Croquis del experimento 1 que será distribuido en charolas plásticas en el área de invernadero ver Figura 1

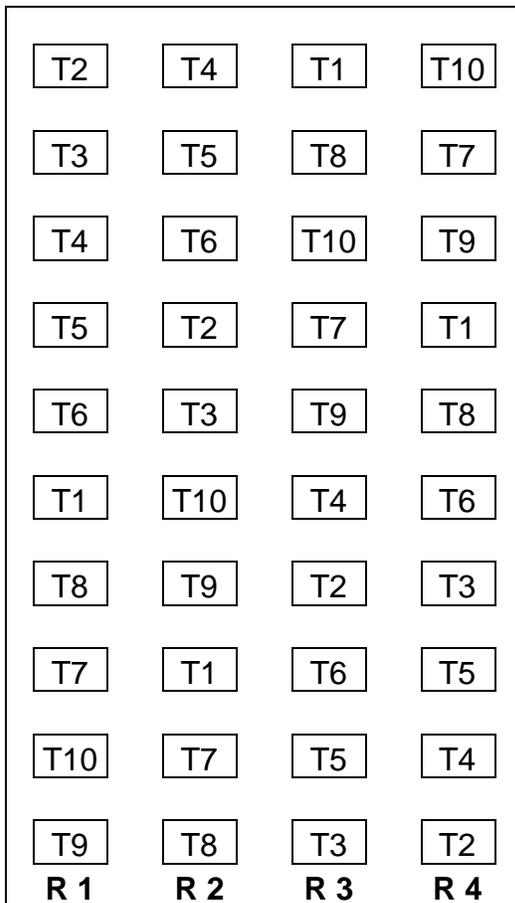


Figura 1 El Croquis del experimento 1 en charolas plásticas en el área de invernadero.

R- Repeticiones.
T- Tratamientos.

En este es experimento 1 vamos a evaluar la efectividad de los distintos tratamientos en el control de las especies de malezas Quelite espinoso (*Amaranthus spinosus* L), Chayotillo (*Xanthium strumarium* L) y flor amarilla (*Helianthus laciniatus* A. Gray). La Fitotoxicidad de los tratamientos utilizados con el cultivo de Maíz. Utilizando el método visual donde se observarán las deformaciones en las hojas y tallos.

Variables agronómicas a evaluar en el Cultivo de maíz:

- Peso seco de plantas de maíz
- Altura de la planta (cm).

- Número de hojas por planta.
- Longitud promedio de las hojas (cm).
- Efectividad de los tratamientos a los 7, 15 y 21 días después de las aplicaciones.

En una tercera etapa se sembrará el experimento 2 con el cultivo de Maíz en el mes de julio de 2020 en las Áreas de cultivos de la Facultad de Agronomía, Campus Marín, ubicado carretera Zuazua-Marín Km 17.5 en el Municipio de Marín, Nuevo León, con una elevación de 375 msnm, coordenadas 25° 53' latitud norte y 100° 03' longitud oeste, con una temperatura promedio anual sobre 22 °C y una precipitación anual promedio de 573 mm, (Rodríguez *et al.*, 2013)

Variables agronómicas a medir:

En las malezas:

- Especies de malezas presentes y controladas.
- Porcentaje de control de las malezas.

En el Cultivo

- Rendimiento de grano por ha.
- Altura de planta (cm).
- Peso de 100 semillas.
- Rendimiento individual de 10 plantas por unidad experimental.
- Longitud de la Mazorca (cm).
- Número de hileras por mazorca y número de granos por hilera.

Utilizando un diseño experimental de bloques al azar con 10 tratamientos y cuatro repeticiones, cada unidad experimental estará compuesta por 4 hileras de 5 metros de largo y 0.80 m entre hileras con una superficie de 16 m².

Se evaluará a los 7, 15 y 21 días después de las aplicaciones. Siguiendo la metodología propuesta por Jürgens (1984), se utilizará la escala propuesta por la sociedad Europea de investigación de malezas (EWRS) para evaluar el control



de malezas y la fitotoxicidad al cultivo por herbicidas ver Cuadros 1 y 2.

Cuadro 1 Escala para evaluar el control de Malezas.

valor	Control de malezas (%)	Efecto sobre malezas
1	99.0-100.0	muerte
2	96.5-99.0	Muy buen control
3	93.0-96.5	Buen control
4	87.5-93.0	Control suficiente
5	80.0-87.5	Control medio
6	70.0-80.0	Control regular
7	50.0-70.0	Control pobre
8	1.0-50.0	Control muy pobre
9	0.0-1.0	Sin efecto

Cuadro 2 Escala de fitotoxicidad al cultivo por el herbicidas

valor	Fitotoxicidad al cultivo (%)	Efecto sobre el cultivo.
1	0.0-1.0	Sin efecto
2	1.0-3.5	Síntomas muy ligeros
3	3.5-7.0	Síntomas ligeros
4	7.0-12.5	Síntomas evidentes Sin efecto en rendimiento
5	12.5-20.0	Daño medio
6	20.0-30.0	Daño elevado
7	30.3-50.0	Daño muy elevado
8	50.0-99.0	Daño severo
9	99.0-100.0	muerte

Tratamientos a utilizar en el experimento 2

- 1-Testigo sin control
- 2-Herbicida Sintético Químico.
- 3-Extracto acuoso al 10% de *Parthenium hysterophorus* L, aplicado a los 30 días.
- 4-Extracto acuoso al 10% de *Parthenium hysterophorus* L, aplicado a los 30 y 45 días.
- 5-Extracto etanólico al 10% de *Parthenium hysterophorus* L, aplicado a los 30 días.

6-Extracto etanólico al 10% de *Parthenium hysterophorus* L, aplicado a los 30 y 45 días.

7-Extracto acuoso al 10% de *Helianthus annuus* Biut, aplicado a los 30 días.

8-Extracto acuoso al 10% de *Helianthus annuus* Biut, aplicado a los 30 y 45 días.

9-Extracto etanólico al 10% de *Helianthus annuus* Biut, aplicado a los 30 días.

10-Extracto etanólico al 10% de *Helianthus annuus* Biut, aplicado a los 30 y 45 días.

En la Figura 2 se presentamos el Croquis del experimento 2 en el campo.

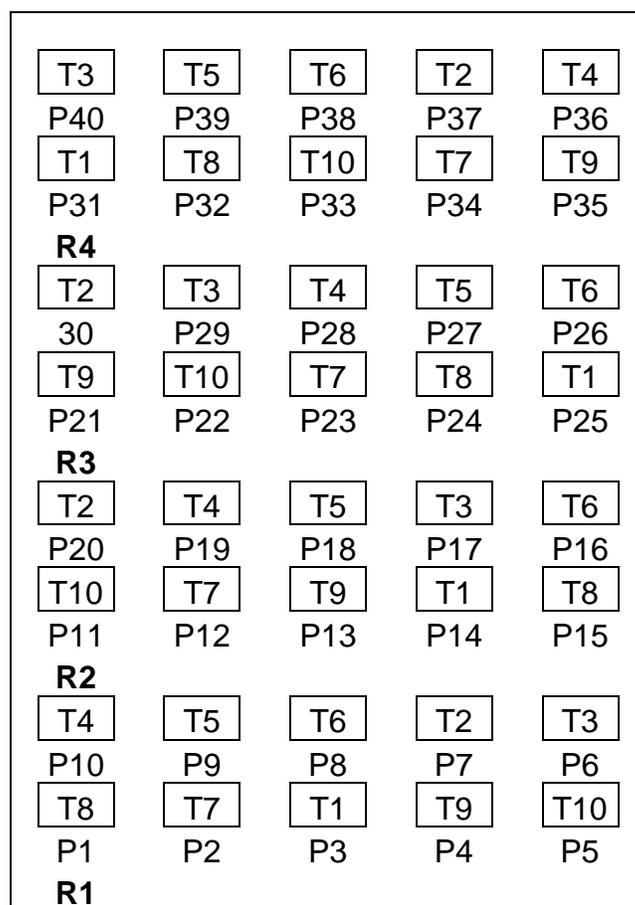


Figura 2. Croquis del experimento 2 en campo.

R-Repeticiones.

P-Parcelas.

T-Tratamientos



Agradecimientos

Al CONACYT por haberme otorgado la beca de manutención que me ayudo a realizar el presente proyecto y a pagar mi estancia durante este periodo.

A la facultad de Agronomía de la U.A. N. L. por las facilidades y apoyo brindado.

Al Departamento de Posgrado por su apoyo y facilidades para estudiar esta Maestría.

Al Dr. José Elías Treviño Ramírez, asesor principal, por todo su apoyo brindado incondicional para llevar a cabo este proyecto, sus consejos y amistad.

A mis maestros de posgrado por brindarme sus conocimientos y guiarme por un buen camino.

Referencias Bibliográficas

Casassa, F., Sario, S. Avagninz, S., Díaz, M., Jofre, V., Fanzone, M. & Catania, C 2006. Influencia de dos técnicas de maceración sobre la composición polifenólica aromática y las características organolépticas y de vinos cv. Merlot. *Enología* 12: 308-313

García, P. S. 2014. Actividad herbicida del aceite esencial de *Thymus capitatus* (L.) Hoffmanns. Et Link y efectividad en función de distintos métodos de aplicación. (Tesis Maestría en Producción vegetal y ecosistemas agroforestales) Universidad Politécnica de Valencia España. pp 2-10

Gomaa, N. H., & AbdElgawad. H. R. 2012 Phytotoxic effects of *Echinochloa colona* (L.) Link. (Poaceae) extracts on the germination and seedling growth of weeds. *Journal of Agricultural Research* 2012 10: 492-501

González, C. L. 2010. Efectos del aceite esencial y extractos acuosos de

Eucalyptus gomphocephala DC. Sobre la germinación y el crecimiento de arvenses. (Tesis Maestría en Producción vegetal y ecosistemas agroforestales) Universidad Politécnica de Valencia España. pp 2-8

Jürgens, G. 1984. Levantamiento de malezas en cultivos agrícolas. Ed. CATIE. Convenio Costarricense-Alemán de Sanidad Vegetal. Costa Rica. pp. 1-17.

Khan, M. 2015. Técnicas de control de malezas (Extractos Alelopáticos) en el cultivo de trigo. *Revista Mexicana de ciencia Agrícola*, 6 (6) 1307- 1316.

Labrada, R. 2003. El control de malezas en el contexto del Manejo Integrado de Plagas. En: Labrada, R.; Caseley, J. y Parker, C. (Ed). *Manejo de Malezas para Países en Desarrollo. Producción y Protección Vegetal*, FAO, Roma: pp 3-9

Martínez, E. G., Segovia, I. F. & López, A. F. (2015). Determinación de polifenoles totales por el método de Folin-ciocalteu. Departamento de tecnología de alimentos. Universidad Politécnica de Valencia, pp. 1-9.

Martínez, M., Téllez, R. & Mora, J. (2018). Maíz blanco y amarillo sustituto o complementos. *Revista mexicana de Ciencias agrícolas*.9 (4) 879-885

Moreno, R. (2017). Manejo de Malezas en el cultivo de Maíz. Trabajo presentado en la jornada de actualización en el cultivo de Maíz – INTAEEA Marcos Juárez. En línea No 8

Muñiz, L. (2017). Manejo de herbicidas sintéticos y extractos vegetales para controlar malezas en cultivos básicos: Maíz, Frijol y Sorgo. (Tesis de Maestría). Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de Nuevo León. General Escobedo, Nuevo León, México. pp. 3-117.



- Ordóñez, V. P., Vega E. and O. Malagón, A. 2006. Phytochemical study of native plant species used in traditional medicine in Loja Province. *A journal of ecology and application Lyonia*. 10 (2): 65-71.
- Ortiz, A. Martínez, L. Quintana, Y., Pérez, A. & Fischer, A (2014). Resistencia de la paja Johnson (*Sorghum halepense* (L) Pers.) a los herbicidas nicosulfuron y foransulfuron + iodosulfuron en Venezuela. *Bioagra*. 26 (2), 71-78.
- Philogene, B., Regnault-Roger, C. & Vincent C. 2004. Productos fitosanitarios insecticidas de origen vegetal: promesas de ayer y de hoy. En: Regnault-Roger, C.; Philogene, B. y Vincent, C, (Ed). *Biopesticidas de Origen Vegetal*. Ediciones Mundi Prensa, Madrid, pp. 1-18
- Reyes, S. R., Casanova, E. V., Gaona, M. C. & Saldarriaga. (2015). Identificación preliminar de los metabolitos secundarios de los extractos acuosos y etanólicos del fruto y hoja de *Moringa citrifolia* L. "Noni" y cuantificación espectrofotométrica de los Flavonoides totales. *UCV-SCIENTIA*, 2 (2), 11-22.
- Rodríguez, P. G., Zavala, G. F., Gutiérrez, D. A., Treviño, R. J., Ojeda, Z. C. & Rosa, L. A. 2013. Comparación de dos tipos de selección en poblaciones de maíces criollos *Rev. Mex. Cienc. Agric.* Vol. 4 no. 4: 569-583.
- Rosario, J., Fuentes, C. & De Pardo, R. (2013). Resistencia de *Panthenium hyterophorus* L. al glifosato: un nuevo biotipo resistente a herbicida en Colombia. *Revista. Agropecuaria y Forestal*. 30 (2), 15-18.
- Topal, S., Kocacaliskanny, I & O. Arslan. 2006. Herbicidal Potential of catechol as an Allelochemical. 61 (1-2): 69-73
- Torres-Acosta, J. F. D. J., M. A. Alonso-Díaz., H. Hoste., C. A. Sandoval-Castro & A. J. Aguilar-Caballero. 2008. Efecto negativos y positivos del consumo de forrajes ricos en taninos en la producción de caprinos. *Tropical and subtropical Agroecosystems*. 9 (1) 123-172
- Zamorano, M., 2006. Alelopatía: un nuevo reto en la ciencia de las arvenses en el trópico. *Agronomía*. 14 (1): 7-15.



Biotipos de mosca blanca (*Bemisia tabaci* Genn.) y sus begomovirus asociados al cultivo de tomate en Gral. Escobedo, Nuevo León.

Oscar U. García-Vázquez¹, Omar G. Alvarado-Gómez¹, José Francisco Díaz-Nájera², Sergio Ayvar-Serna² y Ma. Carmen Ojeda-Zacarías¹

¹Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León Av. Francisco Villa S/N col. Ex Hacienda el Canadá, C.P. 66054 Gral. Escobedo, N.L. Email: oscar.garciavzqz@uanl.edu.mx

Resumen: El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es, después de la papa, la hortaliza más consumida en el mundo, tanto fresco como procesado. Desafortunadamente, es uno de los cultivos más afectados por virus transmitidos por la mosca blanca (*Bemisia tabaci*), ocasionando grandes pérdidas económicas por el bajo rendimiento y calidad del fruto. *B. tabaci* es un complejo de especies crípticas morfológicamente indistinguibles con muchos biotipos, predominando los biotipos A, B y Q los cuales solo son reconocidos por medio de técnicas moleculares. El presente estudio se realizó con el objetivo de identificar a través de las técnicas PCR y secuenciación de ADN los biotipos de *B. tabaci* presentes en cultivo de tomate en el estado de Nuevo León y relacionar su presencia con la ocurrencia de enfermedades begomovirales. También se realizó una detección de los virus presentes en muestras vegetales y en mosca blanca utilizando las técnicas moleculares mencionadas, para su identificación a nivel de especie.

Palabras clave: Begomovirus, Bemisia, PCR.

Abstract: Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is, after potatoes, the most consumed vegetable in the world, both fresh and processed. Unfortunately, it is one of the crops most affected by viruses transmitted by the whitefly (*Bemisia tabaci*), causing great economic losses due to the low yield and quality of the fruit. *B. tabaci* is a complex of cryptic species morphologically indistinguishable with many biotypes, with the predominant biotypes A, B and Q which are only recognized by means of molecular techniques. The present study was carried out with the aim of identifying, using PCR techniques and DNA sequencing, the biotypes of *B. tabaci* present in tomato crops in the state of Nuevo León and relating their presence to the occurrence of begomoviral diseases. Viruses present in plant samples and in whiteflies were also detected using the aforementioned molecular techniques for identification at the species level.

Keywords: Begomovirus, Bemisia, PCR.

Introducción

El cultivo de Tomate (*Solanum lycopersicum*) es, después de la papa, la hortaliza más consumida en el mundo,

tanto fresco como procesado. (Peralta *et al.*, 2017). Desafortunadamente, este es uno de los cultivos más afectados por los virus transmitidos por la mosca blanca (*Bemisia tabaci*), un problema que se ha



visto agravado por el uso intensivo e indiscriminado de insecticidas (Morales, 2011). Ocasionalmente grandes pérdidas económicas por el bajo rendimiento y calidad del fruto (Arguello *et al.*, 2001).

Mosca blanca es el nombre con el que se conoce a un complejo de especies (Brown, 2010) de las cuales 1556 han sido descritas en 161 géneros a nivel mundial (Perring *et al.*, 2018). En México se han registrado 67 especies en 27 géneros (García *et al.*, 2015) pero solamente los géneros *Bemisia* y *Trialeurodes* se reconocen como transmisores de virus a plantas (Palaniswami y Henneberry, 2011).

B. tabaci tiene una distribución mundial, habitando todos los continentes. Originalmente se le conocía como una plaga de las regiones subtropicales y áridas del mundo, pero ahora se ha trasladado a ambientes templados, estando ausente solo en las regiones más al norte de Europa y Asia (Perring *et al.*, 2018).

B. tabaci fue descrita por primera vez por Gennadius en 1889 como *Aleurodes tabaci*, una mosca blanca recolectada en Grecia sobre el cultivo de tabaco (Perring *et al.*, 2018). Se considera un complejo de especies crípticas porque sus miembros exhiben un rango de variación genética y se consideran colectivamente un grupo de especies hermanas (Brown, 2010) con muchos biotipos y se estima que se alimenta de más de 900 especies de plantas de 74 familias (Perring *et al.*, 2018; Palaniswami y Henneberry, 2011). El término biotipo se ha usado para diferenciar organismos morfológicamente idénticos que exhiben comportamientos fenotípicos distintos (Brown, 2010).

B. tabaci pertenece a la familia Aleyrodidae y es una de las plagas agrícolas globales más significativas (Dinsdale *et al.*, 2010). Ya que tienen un amplio rango de hospederos, alta capacidad de proliferación, resistencia a

varios tipos de insecticidas y con capacidad de dispersión a través de varios climas (Vaca *et al.*, 2019). Los adultos y ninfas causan daños directos succionando la savia del floema generando secreciones azucaradas que favorecen el desarrollo de hongos causantes de la fumagina (*Capnodium* sp.) que interfieren con la fotosíntesis, afectando de forma indirecta la producción del cultivo (Sierra *et al.*, 2014) o indirectamente al transmitir virus (Zhang *et al.*, 2005).

Hasta la fecha, 41 poblaciones distintas de *B. tabaci* han sido estudiadas (Perring, 2001) de las cuales se han reconocido al menos 32 biotipos de *B. tabaci*, principalmente sobre la base de diferencias genéticas identificadas mediante el uso de electroforesis de aloenzimas, amplificación aleatoria de ADN polimórfico (RAPD), citocromo oxidasa mitocondrial 1 (CO1) y espaciador transcrito interno ribosomal 1 (ITS-1), ya que son indistinguibles morfológicamente (Dinsdale *et al.*, 2010).

Las poblaciones de *B. tabaci* que se encuentran en el suroeste de Estados Unidos y México han sido designadas como biotipo A, prevaleciendo en esta zona geográfica hasta que se introdujo el biotipo B a mediados de la década de 1980 (Perring, 2001).

Si bien los efectos del biotipo B se observaron desde mediados de la década de 1980, otra mosca blanca de gran importancia, el biotipo Q de *B. tabaci*, apareció en escena 10 años después. El biotipo Q se observó en la cuenca mediterránea. Mostró algunos de los primeros rasgos del biotipo B; exhibiendo resistencia a muchos insecticidas, alta fecundidad y la capacidad de desplazar a sus competidores (Thompson, 2011).

Actualmente se han asignado otras nomenclaturas a estos biotipos, como es; mosca blanca del Nuevo Mundo (New World) anteriormente conocida como Biotipo A, la mosca blanca del Medio Este



Asia Menor 1 (MEAM1) anteriormente conocida como Biotipo B o *Bemisia argentifolii* Bellows and Perring y la mosca blanca del Mediterráneo (MED), anteriormente conocida como Biotipo Q y ahora conocida por ser la original *B. tabaci* (Perring *et al.*, 2018).

Las características del biotipo B incluyen: su naturaleza altamente polífaga, alimentándose de una amplia gama de plantas hospedadoras de familias distintas, su alta resistencia a una amplia gama de insecticidas, incluidos DDT, endosulfán y metil paratión, su capacidad para inducir trastornos fisiológicos en varias especies de plantas. Algunos de estos síntomas incluyen la condición de "hoja de plata" en la calabaza, la maduración irregular del tomate y el tallo ligero de brócoli (Thompson, 2011).

Los begomovirus son un género de virus de la familia Geminiviridae, son virus de plantas que contienen DNA circular de cadena sencilla con uno (monopartito) o dos (bipartito) (DNA-A y DNA-B) componentes genómicos (Vaca *et al.*, 2019) causantes de pérdidas significativas en las cosechas de los agroecosistemas de las regiones tropicales y subtropicales del mundo (Fiallo *et al.*, 2009). Con 322 especies actualmente reconocidas por el Comité Internacional de Taxonomía de Virus (ICTV), es el género más grande de virus vegetales con respecto al número de especies que incluye, infectando una amplia gama de plantas dicotiledóneas principalmente (Hernández *et al.*, 2018; Brown *et al.*, 2015).

En 1971 los productores de tomate en Culiacán, Sinaloa, notaron por primera vez una deformación foliar de sus plantas, que llamaron 'enchinamiento'. El agente causal finalmente se caracterizó como un begomovirus transmitido por la mosca blanca actualmente conocido como virus Chino del tomate (Morales, 2011).

Los síntomas típicos de la enfermedad causada por begomovirus son mosaicos y

moteados amarillos, epinastias, clorosis foliar marginal, abultamientos foliares, reducción del área foliar, enanismo, retraso del crecimiento y reducción en tamaño de los frutos hasta la abscisión floral en casos extremos (Vaca *et al.*, 2012). En América tropical y sub-tropical las pérdidas ocasionadas fluctúan del 40 al 100% (Holguín *et al.*, 2004).

El estado de Nuevo León es un estado con actividades agrícolas y pecuarias, en donde se están abriendo nuevas oportunidades de cultivos en campo e invernadero. Actualmente se está promoviendo la siembra de tomate por la gran demanda y el buen precio que tiene, algunos inversionistas están iniciando con la producción, pero debido a esta nueva dinámica de cultivos se están presentando nuevos problemas con plagas y enfermedades, debido a que en Nuevo León no se tiene la experiencia suficiente en estos cultivos, así como en los problemas que se presentan. Se ha observado que la mosca blanca tiene preferencia por las solanáceas y se estima que es uno de los principales diseminadores de enfermedades de origen viral. Gracias a el descubrimiento y avance de las técnicas moleculares, actualmente se pueden comparar regiones de ADN genómico para fines taxonómicos, es por ello que esta investigación se llevará a cabo con la finalidad de identificar los biotipos de mosca blanca *B. tabaci* y las especies de begomovirus transmitidas a cultivos de hortalizas en el estado de Nuevo León, México. Son pocos los reportes sobre los biotipos de mosca blanca que predominan en México asociadas con la presencia de begomovirus, y menos aún, referidos a hortalizas en el estado de Nuevo León.

Materiales y Métodos

El presente trabajo de investigación se realizó en el laboratorio de Entomología y



Fitopatología de la Facultad de Agronomía de la U.A.N.L. de agosto del año 2019 a abril del 2020.

Clasificación de severidad

Al cultivo de tomate en estudio, se decidió contabilizar y clasificar las plantas con 4 diferentes grados de daño; sana, ligera, moderado y severo. Se realizaron en total 3 conteos en diferentes fechas de su ciclo de vida del cultivo.

Recolección de muestras

Se recolectó una cantidad representativa de tejidos vegetales de nuevo crecimiento con y sin síntomas de virosis de tomate a campo abierto en un cultivo experimental en General Escobedo, Nuevo León, así como también una colecta de adultos de moscas blancas, utilizando un método de succión o aspirado. Una vez recolectadas las muestras se trasladaron a la Facultad de Agronomía de la UANL ubicada en Gral. Escobedo N.L, donde posteriormente fueron analizadas.

Detección de virus

A las muestras vegetales se realizó una extracción individual de ADN total siguiendo los procedimientos de Doyle y Doyle (1990) y del fabricante del kit DNAzol ES_{MR} (MRC, Cincinnati, OH) con algunas modificaciones.

El ADN obtenido se amplificó por PCR con primers genéricos. Utilizando los oligonucleótidos descritos por Wyatt y Brown (1996) prV324 y prC, mediante la amplificación del gen que codifica para la proteína de la cápside de los begomovirus, siguiendo un programa con una temperatura inicial de 94°C durante 4 min, seguido por 35 ciclos de 94°C 60 seg, 50°C 45 seg, y 72°C 45 seg; con una temperatura de 72°C de extensión final por 5 min. Para la amplificación del ADN se

utilizó un termociclador Thermo™ (Thermo Scientific, Wilmington, DE) y la visualización de los productos amplificados se efectuó mediante electroforesis en geles de agarosa al 1% a 60 volts por 5 minutos seguido de 100 volts por 40 minutos, el cual fue observado en un transiluminador de luz UV_{MR} (Labnet, Edison, NJ). Se secuenciaron muestras representativas de los begomovirus encontrados, y las secuencias obtenidas fueron comparadas con la base de datos del GenBank para su identificación a nivel de especie.

Resultados y Discusión

Clasificación de severidad

En el Cuadro 1 se observa que a medida que pasa el tiempo, en las mediciones posteriores va disminuyendo el porcentaje de plantas sanas y aumentando las plantas que presentan diferentes grados de síntomas y daños, pudiéndose deber a que el clima siguió favoreciendo al desarrollo, multiplicación y propagación de la mosca blanca a tal grado que invadieron a la mayoría de las plantas y por lo tanto se transmitió la virosis y se fueron manifestando y agravando los síntomas y daños de virosis.

Cuadro 1. Porcentaje de incidencia de los 4 niveles de daño en tres diferentes fechas de todas las plantas del cultivo experimental de tomate.

Niveles de daño	Porcentaje de Incidencia (%)		
	16/Dic/ 2019	16/Ene/ 2020	29/Ene/ 2020
	120 ddt	151 ddt	164 ddt
Sana	41.4	5.2	5.2
Ligero	22.4	27.6	12.1
Moderado	22.4	31	41.4
Severo	13.8	36.2	41.4



Electroforesis

En la figura 1 se observa el resultado del RT-PCR para begomovirus de 8 muestras de tomate, dos repeticiones de las cuatro severidades de daño. Donde se observa que la muestra 4 salió positiva para begomovirus, siendo este el daño de severidad severo.

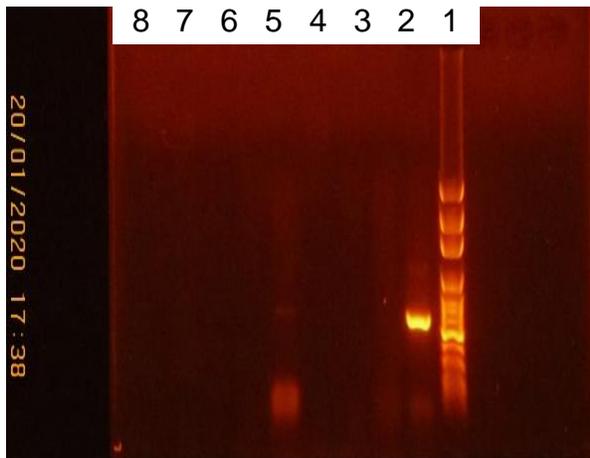


Figura 1. Resultados de RT-PCR para begomovirus de 8 muestras de tomate.

Secuenciación

Los resultados obtenidos del PCR, se mandaron a secuenciar y una vez obtenido el resultado de secuenciación del ADN, se analizó en la base de datos de GenBank, obteniendo como resultado con una coincidencia del 99.43 %, que el virus presente en las plantas es el Tomato yellow leaf curl virosis (TYLCV).

Conclusiones

Se concluye que, para el caso de tomate, de las cuatro repeticiones que se realizaron de PCR, al observar los resultados en el gel de agarosa, mostró que solo una muestra salió positiva para begomovirus aunque muy tenue. Por lo que las demás muestras se interpretan

como falsos positivos pero algo paso en el procedimiento molecular que no pudieron manifestarse adecuadamente.

El begomovirus estudiado pertenece al Tomato yellow leaf curl virosis (TYLCV) con un 99.43 % de coincidencia.

Agradecimientos

A la Facultad de Agronomía – UANL por darme la oportunidad de realizar estudios de posgrado y el apoyo brindado en el espacio para llevar a cabo mis experimentos, así como al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por otorgar la beca de manutención.

Referencias Bibliográficas

- Argüello, I. M., Williams, L., Moraga, D., & Pérez, J. H. (2001). Diagnóstico molecular de geminivirus transmitidos por la mosca blanca en cultivos de tomate en Ciudad Darío y Tomatoya, Nicaragua. *Encuentro*, (58), 20-33.
- Brown, J. K. (2010). Phylogenetic biology of the Bemisia tabaci sibling species group. In *Bemisia: bionomics and management of a global pest*. pp. 31-67. Springer.
- Brown, J. K., Zerbini, F. M., Navas, C. J., Moriones, E., Ramos, S. R., Silva, J. & Malathi, V. G. (2015). Revision of Begomovirus taxonomy based on pairwise sequence comparisons. *Archives of virology*, 160(6), 1593-1619.
- Dinsdale, A., Cook, L., Riginos, C., Buckley, Y. M., & De Barro, P. (2010). Refined global analysis of Bemisia tabaci (Hemiptera: Sternorrhyncha: Aleyrodoidea: Aleyrodidae) mitochondrial cytochrome oxidase 1 to identify species level genetic boundaries. *Annals of the Entomological Society of America*, 103(2), 196-208.



- Doyle, J. J. and Doyle, J. L. (1990). Isolation of plant DNA from fresh tissue. *Focus*, 12, 13-15.
- Fiallo, O. E., Martínez, Z. Y., Hernández, Z. C., Carrillo, T. J. y Rivera, B. R. F. (2009). Identificación de nuevos begomovirus en Cuba mediante el empleo de la amplificación por círculo rodante. *Revista de Protección Vegetal*, 24(2), 81-86.
- García, G. D. A., García, M. O., & Carapia, R. V. E. (2015). Especies de moscas blancas (Hemiptera: Aleyrodidae), asociadas a cultivos y arvenses en el norte de Veracruz, México. *Entomología mexicana*, 2, 552-57.
- Hernández, E. S. A., Enríquez, V. I., Melgoza, V. C. M., Retes, M. J. E., Velarde, F. S., Linares, F. P. J. y Garzón, T. J. A. (2018). Análisis filogenético y distribución de begomovirus en el cultivo del chile (*Capsicum annuum* L.) en Sinaloa, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41(2), 149-157.
- Holguín, P. R., Juárez, R. V., Ruíz, H. M., Tiznado, J. A. G., & Bustamante, R. F. R. (2004). Geminivirus en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y rango de hospedantes en Baja California Sur, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 22(1), 107-116.
- Morales, F. J. (2011). Interaction between *Bemisia tabaci*, begomoviruses, and plant species in Latin America and the Caribbean. *In: The whitefly, Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) interaction with Geminivirus-infected host plants (pp. 15-49). Springer.
- Palaniswami, M. S., y Henneberry, T. J. (2011). *Bemisia tabaci* (Genn.): biotypes and cassava mosaic virus in India. *In: The Whitefly, Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) Interaction with Geminivirus-Infected Host Plants (pp. 121-163). Springer,
- Perring, T. M., Stansly, P. A., Liu, T. X., Smith, H. A., Andreason, S. A. (2018). Whiteflies: Biology, Ecology, and Management. *In: Wakil, W., Brust, G.E., Perring, T.M. (Eds.), Sustainable Management of Arthropod Pests of Tomato*. pp. 73–110. Academic Press, Elsevier.
- Peralta, D., Mena, J. P., & Grefa, V. 2017. Caracterización del cultivo de tomate (*solanum lycopersicum*) y pimiento (*capsicum annuum*) bajo condiciones controladas REVIEW.
- Perring, T. M. (2001). The *Bemisia tabaci* species complex. *Crop protection*, 20(9), 725-737.
- Shatters, R. G. Jr., C. A. Powell, L. M. Boykin, H. Liansheng, and C. L. McKenzie. (2009). Improved DNA barcoding method for *Bemisia tabaci* and related Aleyrodidae: development of universal and *Bemisia tabaci* biotype specific mitochondrial cytochrome oxidase I polymerase chain reaction primers. *J. Econ. Entomol.*, 102, 750-758.
- Sierra, P. V., Quiroga, L. F., & Varón, É. H. (2014). Preferencia de mosca blanca (*Paraleyrodes* sp.) por cultivares de aguacate (*Persea americana* Mill.) en Fresno, Tolima. *Corpoica. Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 15(2), 197-206.
- Thompson, W. M. (2011). Introduction: whiteflies, geminiviruses and recent events. *In: The whitefly, Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) interaction with geminivirus-infected host plants (pp. 1-13) Springer.
- Vaca V. J. C., Corredor S. V. C., Jara T.F., Betancourt A. D. & Lopez L. K. (2019). Nuevos hospederos alternativos de begomovirus asociados con el cultivo de ají en el Valle del Cauca, Colombia. *Revistas. Unal. Edu. Co.* 68(1): 56-60.



- Vaca, J. C. V., & Pérez, J. F. B. (2012). Distribución y diversidad genética de Begomovirus que infectan tomate (*Solanum lycopersicum* L) en Colombia. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 14(1), 60-76.
- Wyatt, S. D. and J. K. Brown. (1996). Detection of subgroup III geminivirus isolates in leaf extracts by degenerate and polymerase chain reaction. *Phytopathology*, 86,1288-1293.
- Zhang, L. P., Zhang, Y. J., Zhang, W. J., Wu, Q. J., Xu, B. Y., & Chu, D. (2005). Analysis of genetic diversity among different geographical populations and determination of biotypes of *Bemisia tabaci* in China. *Journal of Applied Entomology*, 129(3), 121-128.



SEMESTRE III

Efecto del silicio y vermicompost en el crecimiento y producción de biomasa de *Moringa oleifera* Lam.

Carina Lizeth Espinoza-Orozco¹; Emilio Olivares-Sáenz²; Fernando de Jesús Carballo-Méndez²; Guillermo Niño-Medina².

¹Estudiante de Posgrado de Tercer Semestre Maestría en Ciencias en Producción Agrícola de la Facultad de Agronomía – Universidad Autónoma de Nuevo León. Av. Francisco Villa S/N, Col. Ex Hacienda el Canadá, Gral. Escobedo, N.L. Tel. (81) 1340 4399.

²Profesores de la Facultad de Agronomía – Universidad Autónoma de Nuevo León. Av. Francisco Villa S/N, Col. Ex Hacienda el Canadá, Gral. Escobedo, N.L. Tel. (81) 1340 4399. Email: c_lizet_h@hotmail.com

Resumen: El objetivo del trabajo en esta etapa de investigación consistió en evaluar el efecto del silicio y vermicompost en el crecimiento de plantas de moringa variedad vaina larga, considerando la altura de la planta, número de hojas, unidades SPAD y producción de biomasa en tallos y hojas. El presente trabajo se realizó en las instalaciones del Centro de Agricultura Protegida de la Facultad de Agronomía de la UANL. Los tratamientos evaluados fueron establecidos bajo un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones por tratamiento con un arreglo factorial 3*2: tres niveles de silicio (sin silicio, 50 ppm de silicio en aplicación foliar, 50 ppm de silicio en aplicación al suelo) y dos niveles de vermicompost (0 ton ha⁻¹ y 10 ton ha⁻¹). Los resultados mostraron diferencia estadística significativa entre los niveles de silicio, siendo la aplicación de 50 ppm al suelo el nivel con mayor producción de biomasa en peso fresco y seco. Los análisis de antioxidantes y nutrimentos se realizarán en el semestre agosto-diciembre del 2020.

Palabras clave: Composta, Invernadero, Dióxido de silicio, Antioxidantes, Concentración de Minerales.

Abstract: The objective of the work in this research stage was to evaluate the effect of silicon and vermicompost in moringa plants with a long pod variety, considering the growth of the plant, number of leaves, SPAD units and biomass of leaves and stems. This work was carried out at the facilities of the Center for Protected Agriculture at the school of Agronomy, UANL. The treatments were evaluated in a completely randomized experimental design with four replications per treatment with a 3 * 2 factorial arrangement: three levels of silicon (without silicon, 50 ppm of silicon in foliar application and 50 ppm of silicon in soil application) and two levels of vermicompost (0 ton ha⁻¹ and 10 ton ha⁻¹). Results showed significant statistical differences between the levels of silicon. The treatment with 50 ppm of silicon (soil application) had the highest plant fresh and dry weight.

Keywords: Compost, Greenhouse, Silicon dioxide, Antioxidants, Concentration of Minerals.

Introducción

Moringa oleifera Lam. es una planta perteneciente a la familia Moringaceae. Es un árbol de gran plasticidad ecológica

(Pérez *et al.*, 2010), es resistente a las sequías, y se puede cultivar en zonas áridas y semiáridas ya que muestra una respuesta favorable en suelos ácidos y alcalinos, es identificada por tener un



rápido crecimiento y buena producción de biomasa, por lo que se puede considerar como una planta con gran capacidad agronómica (Sánchez *et al.*, 2013).

Debido a las propiedades nutricionales que posee la moringa y a su alto rendimiento en producción de biomasa fresca, es una de las plantas más utilizadas para la producción de forraje y para la alimentación del ganado (Reyes, 2006). Esta planta tiene una gran capacidad de rebrote, lo que resulta benéfico para la producción de biomasa fresca en sistemas de plantación de alta densidad (Padilla *et al.*, 2014).

El crecimiento, desarrollo y producción de biomasa en plantas de moringa puede variar de acuerdo con las condiciones ambientales en las que se desarrolla el cultivo (Carranco *et al.*, 2016).

Cabe destacar que las hojas de moringa contienen altos niveles de aminoácidos, vitaminas y minerales entre los que se encuentran el zinc, calcio, cobre, hierro, fósforo, potasio y magnesio (Ruiz *et al.*, 1998; Mathur, 2005), además contiene una gran cantidad de compuestos fenólicos y antioxidantes, lo que la hace una planta de gran importancia por sus propiedades benéficas.

El silicio es el segundo elemento en abundancia en la corteza terrestre. Sin embargo, la cantidad de silicio disponible para absorción por parte de las plantas es muy bajo. El silicio solo puede ser absorbido por la planta en forma de ácido mono silícico (H_4SiO_4) (Matichenkov, 2008).

Este elemento no ha sido considerado como un elemento esencial para las plantas, no obstante, este elemento tiene efectos favorables en el desarrollo y crecimiento de las mismas (Ma *et al.*, 2014) por lo que ha sido considerado como un elemento benéfico.

Pérez y Mancilla (2012) señalan que las plantas que crecen con carencia de silicio son plantas que son más susceptibles a

plagas, estrés, toxicidad por metales pesados, y estructuralmente son de menor volumen y tienen un desarrollo débil.

Villalón *et al.* (2018), encontraron que la aplicación de dióxido de silicio en el cultivo de chile piquín mejoró el crecimiento y la calidad de la planta.

En un experimento previo con aplicaciones de silicio en moringa se evidenció que el silicio puede incrementar el contenido de fenoles y polifenoles en la planta, así como su capacidad antioxidante, por lo que aplicaciones de este elemento en moringa incrementarían la calidad alimenticia de esta planta (Carballo-Méndez, 2019).

El vermicompost es de gran importancia agrícola ya que es un promotor de la actividad biológica, la cual favorece la germinación, crecimiento y rendimiento de las plantas, sin importar la cantidad de nutrientes que se encuentren disponibles para la planta (Atiyeh *et al.*, 2000). En la agricultura se utiliza como abono orgánico con el propósito de mejorar el suelo (Mogollón *et al.*, 2011).

El vermicompost contiene grandes cantidades de sustancias húmicas y otros materiales que favorecen el crecimiento de las plantas como lo son los reguladores de crecimiento (Arancon *et al.*, 2004).

Xiao *et al.* (2016), encontraron que la aplicación de vermicompost en plantas de tomate disminuyó considerablemente el número de agallas inducidas por nematodos en plantas susceptibles y resistentes, además aumentó las concentraciones de metabolitos de defensa de la raíz, por lo que puede mejorar significativamente las defensas de las plantas.

Sreelatha y Padma, (2009) señalan que los extractos de las hojas maduras y tiernas de moringa contienen una alta actividad antioxidante. Estas propiedades están asociadas a la quelación de metales y a una mayor captura de los radicales libres (Verma *et al.*, 2009).



Los radicales libres (RL) son especies químicas que se caracterizan por poseer uno o más electrones de valencia desapareados en su estructura. Los RL se producen naturalmente en los seres vivos porque son la principal fuente de defensa contra la infección de patógenos. No obstante, un desequilibrio entre los RL y antioxidantes endógenos pueden causar una alteración en el ADN, por lo que se asocia a la aparición de diferentes enfermedades, provocando también una aceleración en el envejecimiento humano (Benezer *et al.*, 2008; Coronado *et al.*, 2015).

Los RL constituyen una porción de las especies reactivas de oxígeno (ERO) o ROS (Reactive Oxygen Species) en complemento con iones de oxígeno y peróxidos orgánicos e inorgánicos (Benezer *et al.*, 2008; Sellés, 2011).

Las ERO son moléculas en las cuales a un átomo le falta un electrón por lo cual toman el electrón faltante de una molécula vecina, provocando una oxidación de la molécula vecina y por consecuente se crea una reacción en cadena (Adam-Vizi, 2005), durante esta un radical libre puede llegar a atacar a un millón de moléculas, en cuestión de microsegundos (Zamora, 2007).

Por lo anterior, el hombre se siente en la necesidad de buscar alimentos o suplementos con propiedades antioxidantes, los cuales luchan contra la degeneración y muerte celular (Gutiérrez *et al.*, 2007). Con la acción de los antioxidantes las células muestran un mecanismo de defensa contra los RL procedentes del oxígeno, por lo que toman acción en la captura de los RL, también actúan en la prevención de su formación, la inhibición de su propagación y la reparación de las lesiones (González y Ortiz, 2000).

Los compuestos fenólicos contienen una gran cantidad de RL y son de gran importancia para las plantas ya que actúan

como protección ante patógenos, de igual manera son fundamentales para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Jáuregui *et al.*, 2007).

Las plantas difieren en el tipo y cantidad de metabolitos secundarios que producen. La moringa oleifera es una planta medicinal que produce una gran cantidad de metabolitos secundarios, tales como taninos, compuestos polifenoles, y flavonoides entre los que se encuentran: campferol, mirecetina, isoramnetina, glucósidos de campferol, quercetina y rutinósidos. Las hojas de moringa contienen compuestos fenólicos simples, entre los que se encuentran el ácido gálico, ácido clorogénico y ácido cumárico (Guzmán-Maldonado y Díaz, 2017) así también, contiene un porcentaje elevado de antioxidantes (Echavarría *et al.*, 2016) Debido al daño que ocasionan los RL en los seres vivos y a las propiedades benéficas del silicio y del vermicompost es necesario considerar la incorporación de estos dos elementos en el cultivo de moringa, y evaluar su efecto en el crecimiento, desarrollo y producción de biomasa en plantas de moringa, así como en la capacidad antioxidante, contenido de fenoles y el contenido de nutrimentos en el tejido vegetal.

El objetivo general del trabajo de investigación de tesis es evaluar el efecto del silicio y la aplicación de vermicompost sobre el crecimiento y biomasa de plantas de moringa, así como la concentración de antioxidantes y nutrimentos en el tejido vegetal.

Materiales y Métodos

Localización del Experimento

El presente trabajo fue realizado en un invernadero gótico del Centro de Agricultura Protegida de la Facultad de Agronomía de la UANL, localizado en el Campus de Ciencias Agropecuarias en el



municipio de Gral. Escobedo, N.L., con una ubicación geográfica de 25° 47' 07" latitud Norte, 100° 17' 03" longitud Oeste, altitud de 479 msnm (INEGI, 2018). El clima de la región es considerado semiárido, con una precipitación de 550 mm y una temperatura media anual de 23 °C (SMN, 2018).

Material Vegetal

La variedad de moringa que se utilizó para la investigación fue "Vaina Larga", producida en el Centro de Agricultura Protegida de la Facultad de Agronomía, UANL.

Tratamientos

Los tratamientos fueron formados con un arreglo factorial (3 x 2), tres niveles de silicio y dos de vermicompost.

Los niveles de silicio fueron los siguientes:

- Sin silicio
- 50 ppm de silicio, aplicación foliar
- 50 ppm de silicio, aplicación al suelo

Los niveles de vermicompost fueron los siguientes:

- 0 ton ha⁻¹
- 10 ton ha⁻¹

Los tratamientos resultantes se muestran en el Cuadro 1:

Cuadro 1. Tratamientos evaluados.

Tratamientos	Silicio	Vermicompost
T1	0	0
T2	50 ppm de silicio foliar	0
T3	50 ppm de silicio suelo	0
T4	0	10 ton ha ⁻¹

T5	50 ppm de silicio foliar	10 ton ha ⁻¹
T6	50 ppm de silicio suelo	10 ton ha ⁻¹

Los tratamientos se evaluaron en un diseño experimental completamente al azar, utilizando una parcela con 1.80 m de largo con 12 plantas como unidad experimental sembradas a doble hilera y una parcela útil de seis plantas, con cuatro repeticiones cada tratamiento.

Análisis de agua y suelo

El análisis de agua se realizó en la Facultad de Agronomía UANL, Campus experimental Unidad Marín, en el laboratorio de suelos, aguas y tejido vegetal. La muestra se tomó de un pozo profundo ubicado en el Campus de Ciencias Agropecuarias.

Las variables que se midieron en el análisis de agua son las siguientes: CE, pH, Ca, Mg, Na, HCO₃, Cl, SO₄, CO₃, Σ de aniones, Σ de cationes, salinidad efectiva (SE), salinidad potencial (SP), relación de adsorción del sodio (RAS), carbonato de sodio residual (CSR), y porcentaje de sodio probable (PSP).

El agua de riego registró los resultados que se muestran en el Cuadro 2:

Cuadro 2. Análisis de agua.

Parámetro	Valor/Unidad
CE	2.26 mS/cm
pH	6.9
Ca	13 meq/L
Mg	6.6 meq/L
HCO ₃	6.9 meq/L
Cl	8.05 meq/L
SO ₄	7.65 meq/L
Na	3 meq/L
Σ de aniones	22.6 meq/L



Σ de cationes	22.6 meq/L
SE	9.6 meq/L
SP	11.875 meq/L
CSR	-12.7 meq/L
RAS	0.9583
PSP	31.25%

De acuerdo con los resultados obtenidos el agua se encuentra alta en sales, bicarbonatos y cloruros.

El análisis de suelo se determinó en los laboratorios de aguas y suelos campus experimental Unidad Marín y General Escobedo. de la Facultad de Agronomía UANL.

El muestreo de suelo se realizó a una profundidad de 0-30 cm, mediante el procedimiento establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (Semarnat, 2002).

Los métodos implementados para la determinación de las siguientes variables fueron:

Relación pH (Relación Suelo-Agua 1:2), Textura (por el método del hidrómetro), Materia Orgánica (por el método de Walkley y Black), Nitrógeno Total (por el método Kjeldahl) y Fósforo (por el método de Olsen Modificado), Calcio, Magnesio y Potasio (por el método de absorción atómica).

Los resultados del análisis de suelo corresponden a los realizados al inicio y al final de la investigación los cuales se muestran en el Cuadro 3:

Cuadro 3. Análisis de suelo.

Parámetro	Inicio	Final	
	Suelo	Suelo	Suelo + Verm
pH	7.9	8.2	8.3
CE	5.21 mS/cm	4.26 mS/cm	3.03 mS/cm

Textura	23.16% Arena, 30% Limo, 46.84% Arcilla	25.28% Arena, 26% Limo, 48.72% Arcilla	27.28% Arena, 22% Limo, 50.72% Arcilla
MO	2.484%	2.563%	2.957%
Nitrógeno total	0.2107 %	0.1673 %	0.1673 %
Fósforo	145.89 ppm	136.14 ppm	146.19 ppm
Ca	14.853 meq/10 0 gr	15.33 meq/10 0 gr	14.81 meq/10 0 gr
Mg	5.865 meq/10 0 gr	6.23 meq/10 0 gr	6.098 meq/10 0 gr
Potasio	0.4192 meq/10 0 gr	0.3515 meq/10 0 gr	0.3630 meq/10 0 gr

Preparación del suelo y siembra

El suelo se preparó con dos pasos de labranza con un rotocultivador. La siembra de moringa se realizó en dos charolas de propagación de unicele con 200 celdas, utilizando Peat Moss (Sunshine® Mezcla 3) como sustrato.

El trasplante se llevó a cabo el 4 de julio del 2019, en suelo húmedo. Las aplicaciones de los tratamientos se llevaron a cabo semanalmente a partir del 12 de julio del 2019 durante siete semanas antes del primer corte.

En el período de crecimiento de las plantas para obtener un segundo corte se presentó un fuerte problema de araña roja, por lo que no fue posible obtener muestras en este período. Por tal motivo, un segundo experimento con los mismos tratamientos y características que el primero fue sembrado el 27 de abril del 2020. Actualmente las plantas están en crecimiento y los tratamientos se están aplicando con una frecuencia semanal.



Variables evaluadas

El crecimiento de la planta se evaluó semanalmente tomando las siguientes variables: altura de planta y número de hojas.

La medición de clorofila en las hojas de moringa se realizó antes del corte, utilizando un medidor de clorofila SPAD 502 Plus, marca Minolta, los resultados se registraron en unidades SPAD.

Las plantas de moringa se cortaron cuando alcanzaron una altura de 1.8 m, realizando el corte a una altura de 20 cm sobre el nivel del suelo. Seis plantas por unidad experimental fueron utilizadas para determinar el peso fresco y seco. El secado de las plantas se realizó en un deshidratador marca YAMATO.

El análisis estadístico de los datos obtenidos de las variables evaluadas se realizó con el software SPSS Statistics, Versión 21. La comparación múltiple de medias fue analizada mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Variables por evaluar

La capacidad antioxidante se realizará con los siguientes métodos de acuerdo con López-Contreras *et al.*, (2015): DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo), ABTS (ácido 3-etil-benzotiazolin-6-sulfónico) y FRAP (*Ferric Reducing Antioxidant Power*).

La cantidad de fenoles totales se determinará utilizando un Método colorimétrico (Chun y Kim, 2004) y la cantidad de flavonoides totales, se evaluará de acuerdo con Ivanova *et al.*, (2011).

La concentración de minerales en el tejido vegetal se determinará de la siguiente manera: Nitrógeno por método Kjeldahl, Fósforo por el método amarillo vanadato, Potasio, Calcio y Magnesio por absorción atómica.

Los análisis de laboratorio para determinar capacidad antioxidante y concentración de minerales en el tejido vegetal se realizarán en el semestre agosto-diciembre del 2020.

Resultados y Discusión

Los análisis de varianza mostraron que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos para altura de planta, número de hojas y unidades SPAD (Cuadros 4, 5 y 6). Sin embargo, las variables de peso fresco y seco de tallo y hoja resultaron con diferencias significativas entre los tratamientos de silicio. Para estas variables los análisis de varianza no encontraron diferencias entre los niveles de vermicompost y la interacción entre los dos factores.

Las comparaciones múltiples de medias para los niveles de silicio mostraron que la aplicación de 50 ppm al suelo tuvo los mayores rendimientos de materia fresca y seca en tallo y hoja (Cuadros 7 y 8).

Los resultados encontrados coinciden con lo observado en plantas de café por Caicedo y Chavarriaga (2007), quienes encontraron un aumento en el rendimiento de biomasa con la aplicación de silicio.

Los resultados obtenidos en la presente investigación coinciden con los reportados por Carballo-Méndez (2019), quien estudio la aplicación de silicio en moringa encontrando que la aplicación de silicio incrementó la biomasa en un 46% comparado con el tratamiento control.

Estos resultados concuerdan con la idea de que el silicio es un elemento benéfico para el crecimiento de las plantas, aunque no es un elemento esencial.

Cuadro 4. Altura de planta (cm).

Silicio	Altura (cm)
Sin Silicio	59.80



50 ppm Si. Aplicación Foliar	59.42
50 ppm Si. Aplicación Suelo	64.07
Error Estándar	2.35

Cuadro 5. Numero de hojas.

Silicio	# Hojas
Sin Silicio	6.44
50 ppm Si. Aplicación Foliar	6.58
50 ppm Si. Aplicación Suelo	6.96
Error Estándar	0.17

Cuadro 6. Medición de clorofila (unidades SPAD).

Silicio	SPAD
Sin Silicio	44.82
50 ppm Si. Aplicación Foliar	45.23
50 ppm Si. Aplicación Suelo	44.84
Error Estándar	0.76

Cuadro 7. Peso fresco de hojas y tallos.

Silicio	PFH (g)	PFT (g)
Sin Silicio	1150.0 b	1298.7 b
50 ppm Si. Aplicación Foliar	1145.2 b	1306.2 b
50 ppm Si. Aplicación Suelo	1462.5 a	1813.7 a

Error Estándar	67.1	92.2
----------------	------	------

a, b letras diferentes indican diferencia significativa entre los tratamientos de silicio ($p \leq 0.05$).

Cuadro 8. Peso seco de hojas y tallos.

Silicio	PSH (g)	PST (g)
Sin Silicio	200.0 b	188.8 b
50 ppm Si. Aplicación Foliar	200.0 b	195.8 b
50 ppm Si. Aplicación Suelo	250.0 a	295.4 a
Error Estándar	9.913	16.96

a, b letras diferentes indican diferencia significativa entre los tratamientos de silicio ($p \leq 0.05$).

Conclusiones

La aplicación de silicio al suelo incrementó la producción de biomasa en tallos y hojas de la planta de moringa, lo cual sugiere que el silicio es un elemento benéfico para el crecimiento de moringa.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el recurso otorgado para el desarrollo de mis actividades académicas.

Al Centro de Agricultura Protegida por la facilitación de las instalaciones y recursos para llevar a cabo la realización del trabajo de investigación.

Al Ing. Fernando Cabrieles Luna encargado del laboratorio de aguas y suelos de la Unidad Académica Marín, por el apoyo y la facilitación del equipo para la realización de los análisis de agua y suelo.

Referencias Bibliográficas

Adam-Vizi, V. (2005). Production of reactive oxygen species in brain



- mitochondria: contribution by electron transport chain and non-electron transport chain sources. *Antioxidants and redox signaling*, 7(9-10), 1140-1149.
- Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Bierman, P., Welch, C., y Metzger, J. D. (2004). Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields. *Bioresource technology*, 93(2), 145-153.
- Atiyeh, R. M., Subler, S., Edwards, C. A., Bachman, G., Metzger, J. D., y Shuster, W. (2000). *Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil*. 590, 579–590.
- Benezer-benezer, M., García-pineda, E. C. E., Plantas, M. De, Edif, B., y Correspondencia, M. C. P. (2008). *La Producción de Especies Reactivas de Oxígeno Durante la Expresión de la Resistencia a Enfermedades en Plantas*. 56–61.
- Caicedo, L., y Chavarriaga, W. (2007). Efecto de la aplicación de dosis de silicio sobre el desarrollo en almácigo de plántulas de café variedad Colombia. *Agronomía Colombiana*, 15(1), 27–37. <https://doi.org/10.1016/j.surg.2006.10.010>. Use
- Carballo-Méndez, F. (2019). *Influencia del silicio en plantas sometidas a estrés salino* (Tesis de Doctorado). Facultad de Agronomía, UANL, General Escobedo, N.L.
- Carranco, Z. M., Sáenz, E. O., Ornelas, E. G., Barragán, H. B., Ruiz, J. A., Alvarado, R. E. V., y de la Rosa, R. C. (2016). Crecimiento y producción de biomasa de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) bajo las condiciones climáticas del Noreste de México. *Tecnociencia Chihuahua*, 10(3).
- Chun, O. K., y Kim, D. O. (2004). Consideration on equivalent chemicals in total phenolic assay of chlorogenic acid-rich plums. *Food Research International*, 37(4), 337-342.
- Coronado, M., Vega y León, S., Gutiérrez, R., Vázquez, M., y Radilla, C. (2015). Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana. *Revista chilena de nutrición*, 42(2), 206-212.
- Echavarria, A., D'Armas Regnault, H., Lisbeth, N., Matute, L., Jaramillo, C., Rojas de Astudillo, L., y Benitez, R. (2016). Evaluación de la capacidad antioxidante y metabolitos secundarios de extractos de dieciséis plantas medicinales / Evaluation of antioxidant capacity and secondary metabolites of sixteen medicinal plants extracts. *Ciencia Unemi*, 9(20), 29. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol9iss20.2016pp29-35p>
- González-torres, M. C., y Ortiz-muñiz, M. B. R. (2000). *Daño Oxidativo y Antioxidantes*.
- Gutiérrez Zavala, Á., Ledesma Rivero, L., García García, I., y Grajales Castillejos, O. (2007). Capacidad antioxidante total en alimentos convencionales y regionales de Chiapas, México. *Revista cubana de salud pública*, 33.
- Guzmán-Maldonado, S. H., y Díaz Fuentes, V. H. (2017). Diversidad en la composición fenólica y capacidad antioxidante de colectas de moringa del estado de Chiapas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(7), 1641-1645.
- INEGI. (2018). Mapa Digital de México V6.3.0
- Ivanova, V., Stefova, M., Vojnoski, B., Dörnyei, Á., Márk, L., Dimovska, V., ... y Kilár, F. (2011). Identification of polyphenolic compounds in red and white grape varieties grown in R. Macedonia and changes of their content during ripening. *Food*



- Research International*, 44(9), 2851-2860.
- Lopez-Contreras, J. J., Zavala-Garcia, F., Urias-Orona, V., Martinez-Avila, G. C. G., Rojas, R., y Guillermo, N. M. (2015). Chromatic, phenolic and antioxidant properties of Sorghum bicolor genotypes. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 43(2), 366-370.
- Ma, J. F., Tamai, K., Yamaji, N., Mitani, N., Konishi, S., y Katsuhara, M. (2014). *LETTERS A silicon transporter in rice*. (April 2006). <https://doi.org/10.1038/nature04590>
- Mathur, B. (2005). Trees for life. Recuperado el 10 de octubre de 2019, de Trees for life: [http://www.treesforlife.org/sites/default/files/documents/Moringa_Book_Sp\(screen\).pdf](http://www.treesforlife.org/sites/default/files/documents/Moringa_Book_Sp(screen).pdf)
- Matichenkov, V. V., Bocharnikova, E. A., Kosobryukhov, A. A., y Biel, K. Y. (2008). Mobile forms of silicon in plants. In *Doklady Biological Sciences* (Vol. 418, No. 1, pp. 39-40). MAIK Nauka/Interperiodica.
- Mogollón, J. P., Tremont, O., y Rodriguez, N. (2011). Efecto del uso de un vermicompost sobre las propiedades biológicas y químicas de suelos degradados por sales. *Venesuelos*, 9(1 y 2), 48-57.
- Muñoz Jáuregui, A. M., Ramos-Escudero, D. F., Alvarado-Ortiz Ureta, C., y Castañeda Castañeda, B. (2007). Evaluación de la capacidad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos en recursos vegetales promisorios. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 73(3), 142-149.
- Padilla, C., Fraga, N., Scull, I., Tuero, R., y Sarduy, L. (2014). Efecto de la altura de corte en indicadores de la producción de forraje de Moringa oleifera vc. Plain. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 48(4), 405-409.
- Pérez, A., Sánchez, T., Armengol, N., y Reyes, F. (2010). Características y potencialidades de Moringa oleifera, Lamark: Una alternativa para la alimentación animal. *Pastos y forrajes*, 33(4), 1-1.
- Pérez, J. C. R., y Mancilla, C. L. A. (2012). El papel del silicio en los organismos y ecosistemas. *Conciencia tecnológica*, (43), 42-46.
- Reyes Sánchez, N. (2006). *Moringa oleifera and Cratylia argentea* (Vol. 2006, No. 1).
- Ruiz, C., Alegria, A., Barbera, R., Farre, R., y Lagarda, M. J. (1998). Selenium, zinc and copper in plasma of patients with type 1 diabetes mellitus in different metabolic control states. *Journal of trace elements in medicine and biology*, 12(2), 91-95.
- Sánchez-Peña, Y. A., Martínez-Ávila, G. C. G., Sinagawa-García, S. R., y Vázquez-Rodríguez, J. A. (2013). Moringa oleifera; importancia, funcionalidad y estudios involucrados. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 5(9), 25-30.
- Sellés, A. J. N. (2011). *Terapia antioxidante, estrés oxidativo y productos antioxidantes: retos y oportunidades Antioxidant therapy, oxidative stress and antioxidant products: challenges and opportunities*. 37(Ldl), 644-660.
- Semarnat. (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación*.
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). 2018. Normales Climatológicas del estado de Nuevo León.
- Sreelatha, S., y Padma, P. R. (2009). Actividad antioxidante y contenido fenólico total de hojas de Moringa oleifera en dos etapas de madurez.



Los alimentos vegetales Hum. Nutr,
64, 303-311.

- Villalón-Mendoza, H., Castillo-Villarreal, M. A., Garza-Ocañas, F., Guevara-González, J. A., y Sánchez-Castillo, L. (2018). Dióxido de silicio como estimulante del índice de calidad de plantas de chile piquín (*Capsicum annum* L. var. *glabriusculum*) producidas en vivero. *Revista mexicana de ciencias forestales*, *9(50)*, 294-303.
- Verma, A. R., Vijayakumar, M., Mathela, C. S., y Rao, C. V. (2009). In vitro and in vivo antioxidant properties of different fractions of *Moringa oleifera* leaves. *Food and Chemical Toxicology*, *47(9)*, 2196-2201.
- Xiao, Z., Liu, M., Jiang, L., Chen, X., Griffiths, B. S., Li, H., y Hu, F. (2016). Vermicompost increases defense against root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) in tomato plants. *Applied soil ecology*, *105*, 177-186.
- Zamora, J. D. (2007). Antioxidantes: micronutrientes en lucha por la salud. *Revista chilena de nutrición*, *34(1)*, 17-26.



Cuantificación de indicadores biológicos y de la producción de biomasa en un sistema de laguna de oxidación para tratamiento de aguas residual municipal.

Dulce Yesenia Marquez-Urbe, Juan Nápoles Armenta, Alejandro Isabel Luna Maldonado, Julia Mariana Marquez Reyes, Juan Antonio Vidales-Contreras.

Facultad de Agronomía, UANL. Av. Francisco Villa S/N, Col. Ex Hacienda el Canadá, tel. (81) 1340 4399. Email: dmarquib@gmail.com

Resumen: La producción de biomasa y la concentración de indicadores biológicos y fisicoquímicos de la calidad sanitaria del efluente de una laguna de oxidación fueron determinadas. Los resultados observados indican que en promedio NH_4^+ y PO_4^{3-} pueden ser removidos 63% y 53% respectivamente; mientras que las coliformes totales y fecales disminuyeron en más de 88 y 95%. La dominancia con respecto a los indicadores biológicos cuantificados, adicionales a coliformes, fue protozoarios>rotíferos>microalgas con un incremento en la concentración de oxígeno disuelto en el efluente del sistema.

Palabras clave: Agua residual municipal, lagunas de oxidación, microalgas, biomasa y SSV

Abstract: Biomass production and biological and physical chemical indicators of sanitary quality of the oxidation pond effluent were quantified. NH_4^+ and PO_4^{3-} average values were removed at 63 and 53 % levels, respectively, whereas total and fecal coliforms decreased more than 88 and 95%. The dominance of other indicator microorganisms in the wastewater system was protozoa> rotifers > microalgae.

Keywords: municipal wastewater, oxidation ponds, microalgae. biomass, and SSV.

Introducción:

El diseño básico de los estanques facultativos se basa en convertir energía no fósil en un proceso natural de tratamiento de aguas residuales mediante comunidades microbianas simbióticas (Ho *et al.*, 2017). En estos sistemas las poblaciones de protozoos y rotíferos desempeñan un papel esencial en la eliminación de materia orgánica y en la captura de la biomasa activa representada por bacterias y microalgas (Sivewu *et al.*, 2008; Pajdak-Stós *et al.*, 2017; Fiałkowska, *et al.*, 2019). Esta biomasa activa es necesaria para realizar los ciclos biogeoquímicos en la

transformación de carbono, nitrógeno y azufre por comunidades mutualistas aerobias, facultativas y anaerobias que trabajan en una posición específica en la columna de agua (Paerl y Pinckneyvon, 1995; Sperling, 2007; Belila *et al.*, 2012). En la superficie del sistema, las bacterias aeróbicas consumen compuestos orgánicos que liberan CO_2 y las comunidades quimio autotróficas oxidan el amonio a nitritos y nitratos. En la zona anóxica de la laguna, las bacterias facultativas realizan las transformaciones bioquímicas para el tratamiento de aguas residuales en una relación mutualista con las microalgas. La zona anóxica-aeróbica es el ambiente bioquímico para las



bacterias reductoras de sulfato que se ubican por encima de las comunidades anaeróbicas donde el CO_2 se reduce a metano (Paerl y Pinckneyvon, 1995; Maier, 2015). En la misma zona, los nitratos y nitritos se convierten en N_2 (gas) o amoníaco a través de la desnitrificación o la desasimilación reductora de nitratos, respectivamente (Maier, 2015). La eliminación de fósforo ocurre principalmente por precipitaciones químicas, en condiciones alcalinas, y por su acumulación en bacterias que se alimentan de compuestos de bajo peso molecular que emergen desde las zonas fermentativas (Metcalf & Eddy, 2014; Vendramelli *et al.*, 2016). Aparentemente, la diversidad es una función de la carga orgánica sobre las lagunas de oxidación; con el aumento de la carga orgánica la diversidad disminuye (Pearson, 2006). De hecho, la población de algas que domina a medida que aumenta la carga orgánica es *Chlamidomonas*. Con respecto a los microorganismos eucariotes, la dominancia de las comunidades de protozoos y rotíferos es un indicador de la calidad de las aguas residuales en el efluente del sistema (Metcalf & Eddy, 2014). Los protozoos son el grupo más grande de organismos fagotróficos que existen, muchos son anaerobios, son muy eficientes fagocitando partículas en suspensión por lo que son abundantes en efluentes con alta concentración de materia orgánica y que favorecen su clarificación (Esteban *et al.*; 2015). Al igual que los protozoos, los rotíferos se alimentan de partículas orgánicas, algas y microorganismos de tamaño similar (Jiménez-Santos, *et al.*, 2019). En estanques de agua dulce, sus concentraciones pueden alcanzar hasta 5,000 organismos por litro si la densidad de materia orgánica suspendida es alta. Se han observado concentraciones mucho más altas en sistemas de acuicultura a concentraciones de oxígeno

disuelto superiores a 5 mg L^{-1} (Park *et al.*, 2001). Específicamente, en los estanques de tratamiento de aguas residuales, su concentración puede alcanzar hasta $12,000 \text{ indiv L}^{-1}$. El funcionamiento de estos sistemas consiste en la retención del influente para el tiempo suficiente para estabilizar la materia orgánica en ciclos estacionales y diurnos de la concentración de O_2 , condiciones redox, pH, suministro de nutrientes y la radiación solar (Perl and Pickney, 1999). Comúnmente en los trópicos, la concentración máxima de CO_2 en la columna ocurre al amanecer, cayendo en las primeras horas de la tarde debido a la actividad fotosintética de las comunidades de microalgas en la capa superior de la laguna que recibe la radiación solar. Como consecuencia, la concentración de oxígeno alcanza su punto máximo, a menudo por encima de la concentración de saturación, poco después del mediodía, cuando tiene lugar la máxima intensidad de luz. Cerca de la superficie, las bacterias heterotróficas consumen oxígeno y liberan CO_2 en un entorno facultativo; sin embargo, las condiciones de CO_2 permanecen por debajo de la saturación en la columna de agua. Para satisfacer la demanda de CO_2 de las microalgas, la ionización de bicarbonato libera iones de OH^- incrementando el pH más de 3 unidades sobre un pH 7. La radiación solar calienta la capa superior de la laguna causando estratificación vertical de las poblaciones de algas debido a la penetración de la luz que mueve sus límites verticalmente en respuesta a la intensidad de la luz (Pearson, 2006). En el fondo de la columna de agua, la sedimentación de la materia orgánica da como resultado condiciones anaeróbicas favorables para la producción de CH_4 . Similar al CO_2 , este gas alcanza un máximo al amanecer y un mínimo en algún momento después del mediodía. Al final de la tarde, la actividad



fotosintética disminuye, aumentando la concentración de CO_2 , invirtiendo el perfil de temperatura del agua y por convección el estanque tiende a mezclarse. En este momento, la concentración de algas se distribuye de manera más uniforme y el CH_4 es liberado desde el fondo del estanque (Pearson, 2006).

Los objetivos del presente estudio son: a) cuantificar los indicadores físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales en tres sitios de muestreo a lo largo del sistema; y b) cuantificar las poblaciones de protozoarios, rotíferos y microalgas en estos sitios de muestreo; c) evaluar la eliminación de amonio y fosfato de la entrada a la salida de las dos lagunas de oxidación.

Materiales y Métodos

Sitio de estudio y muestreo

El sitio de estudio está ubicado en el municipio de Ciénega de Flores, N.L. (Figura 1) aproximadamente a 22 km al noreste de la ciudad de General Escobedo. Ubicándose geográficamente a los $25^{\circ}56'06''$ Latitud norte y $100^{\circ}10'02''$ de longitud oeste. Por lo que de acuerdo con esta ubicación recibe una radiación solar entre los 11.2 y los 22 $\text{MJ}/\text{m}^2\text{-día}$ en promedio durante el mes de enero y julio, respectivamente.

Este sistema de tratamiento consiste en dos lagunas de oxidación conectadas en serie de aproximadamente 0.2 ha cada una que reciben el agua residual municipal del área urbana del municipio descargando su efluente en el Río Salinas (Figura 1).



Figura 1. Sistema de lagunas de oxidación donde la presente investigación está siendo realizada. Mostrando los sitios de muestreo.

Las muestras de agua residual se colectaron cada 15 días, a partir de septiembre 2019, de la entrada (E1), a la mitad del sistema (S1) y en la descarga (S2) utilizando envases de plástico previamente esterilizados con capacidad de 1 L que se colocaron en hieleras para mantener su temperatura a 4°C , aproximadamente, durante el traslado al laboratorio de Remediación Ambiental y Análisis de Suelos, Aguas y Plantas para su análisis.

Caracterización del agua residual.

La caracterización de las muestreas fue realizada de acuerdo con los métodos estándar descritos por APHA (2005), que se ilustran en el Cuadro 1, para la cuantificación de ortofosfatos, pH, SST, SSV, oxígeno disuelto (OD) y conductividad eléctrica (CE). La cuantificación de coliformes totales, fecales y colifagos se realizó durante las siguientes 24 h una vez que las muestras fueron colectadas.



Cuadro 1. Análisis fisicoquímicos y microbiológicos para el agua.

Análisis	Metodología
Amonio	Formación de indofenol
Ortofosfatos	Método de ácido ascórbicos
Demanda química de oxígeno (DQO)	Colorimétrico de flujo cerrado
Determinación de Solidos	SST, SSV
pH	Método electrométrico
CE	Método electrométrico
OD	Método electrométrico
Microbiológicos (C. fecales, C. totales)	Conteo de UFC/100mL

Análisis Estadístico

El análisis estadístico se realizó un análisis de varianza para determinar diferencias significativas entre muestras atrás del periodo del tiempo (otoño, invierno y primavera) y sitios fue realizado con el paquete Estadístico para Sociales 17.0 (SPSS Inc., Chicago, ILL). Los parámetros que presentaron diferencias significativas fueron analizados con la prueba de Tukey ($p < 0.005$).

Resultados y Discusión

Los resultados obtenidos para pH en los sitios de muestreo se presentan en la Figura 2 en la que se observa una disminución del 3% en el sitio S1 y un incremento del 8% en el sitio S2, respectivamente, ($p < 0.05$) siendo no

estadísticamente significativo para estaciones (otoño, invierno y primavera). Los resultados de CE en los sitios de muestreo se presentan en la Figura 3 en la que se observa una disminución del 4 y 7 % en S1 y S2, respectivamente (no estadísticamente significativos). Con respecto a las determinaciones de OD (Figura 3), estas presentaron un incremento del 19 % y 23 % en S1 y S2 con respecto al influente, respectivamente ($p < 0.05$).

La temperatura es uno de los parámetros físico más importante en la caracterización de las aguas residuales. Influidando en las actividades biológicas durante las operaciones del tratamiento (Siti *et al.* 2012). En el presente estudio la temperatura disminuyó un 14% para los sitios S1 y S2 (Figura 4) siendo estadísticamente significativo ($p < 0.05$) para E y S1 con respecto a las estaciones de año (otoño, invierno y primavera).

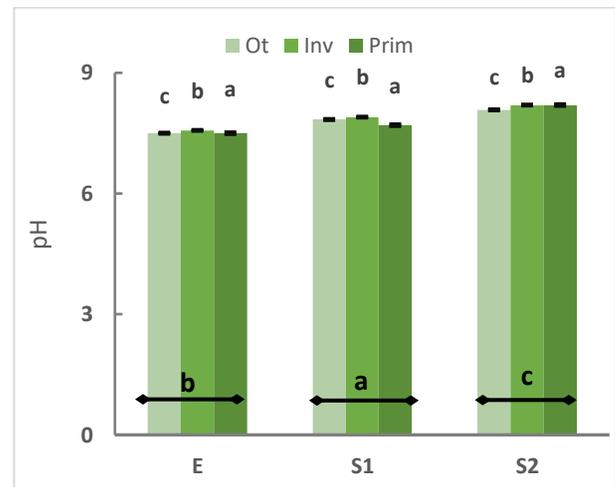


Figura 2. Evaluación de pH en las muestras colectadas durante el presente estudio.

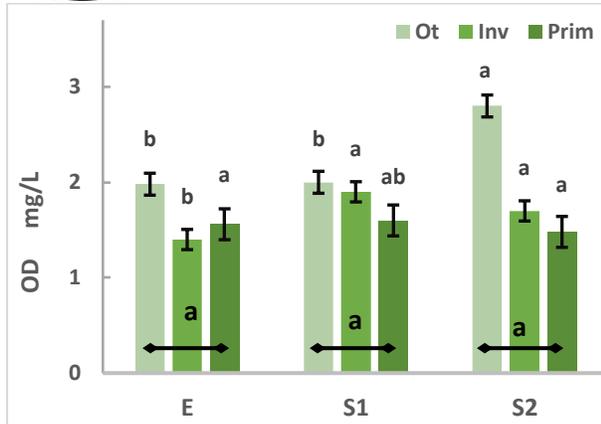


Figura 3. Cuantificación del OD en los sitios de muestreo del presente estudio.

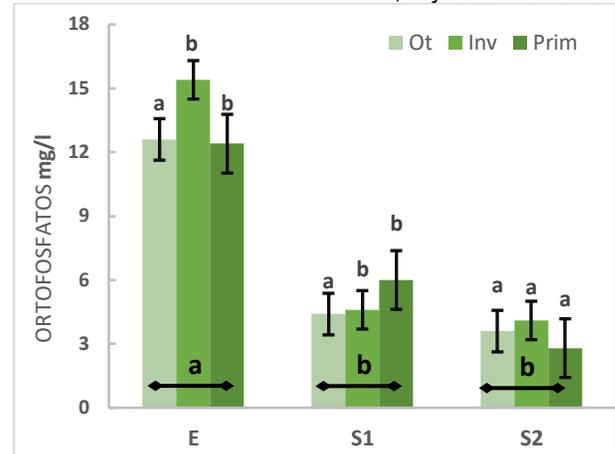


Figura 5. Cuantificación de Ortofosfatos en los sitios de muestreo del presente estudio.

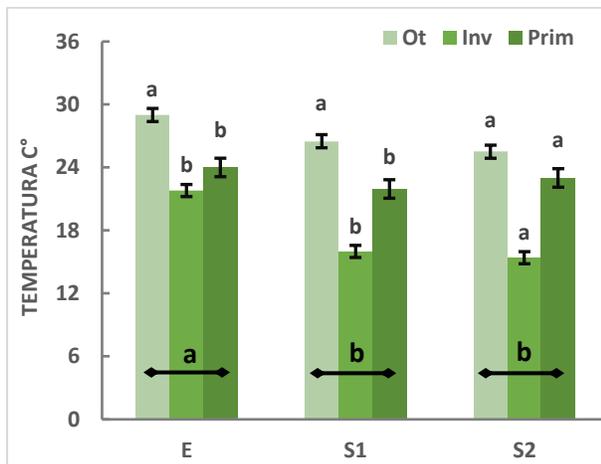


Figura 4. Evaluación de la Temperatura en las muestras colectadas durante el presente estudio

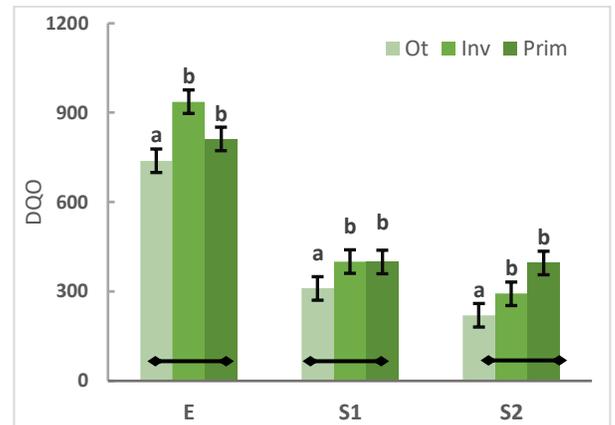


Figura 6. Cuantificación de DQO en los sitios de muestreo del presente estudio

Las concentraciones PO_{4-3} y NH_{4+} disminuyeron en más 63% y 74% PO_{4-3} y 53% NH_{4+} , respectivamente, ($p < 0.05$) en la descarga del sistema con respecto a las concentraciones de entrada (Figura 5 y 7). Butler et al., 2017 reporta que estos indicadores disminuyen en 45 - 65% y 32% - 82% en un sistema de lagunas de oxidación. La Figura 6 muestra las concentraciones de DQO, se puede observar que las concentraciones de otoño son significativamente diferentes a las concentraciones de invierno y primavera ($p < 0.05$). Entre sitios de muestro, la DQO disminuyó 54% en S1 y 64% en S2 ($p < 0.05$) con respecto a las densidades de entrada.

Los SST y SSV no difirieron significativamente entre la entrada y la descarga del sistema (Figura 8 y 9). Sin embargo, sobrepasan los límites permisibles para SST que es de 75 mg/L en promedio por día de acuerdo con la NOM-001-ECOL-1996.

Los análisis para coliformes totales y fecales se presentan en la Figura 10 y 11; en todos los casos se observó una reducción en la concentración influente superior al 88 y 95% ($p < 0.05$) en S1 y S2, respectivamente. Estos resultados sobrepasan los límites permisibles que son 1,000 UFC/100mL (NOM-003-ECOL-1997).

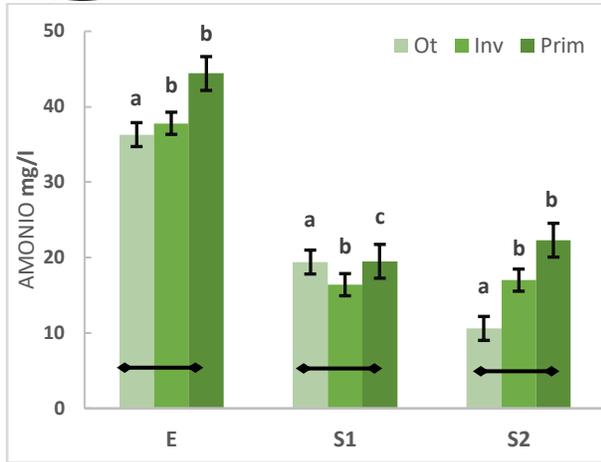


Figura 7. Cuantificación de Amonio en los sitios de muestreo del presente estudio.

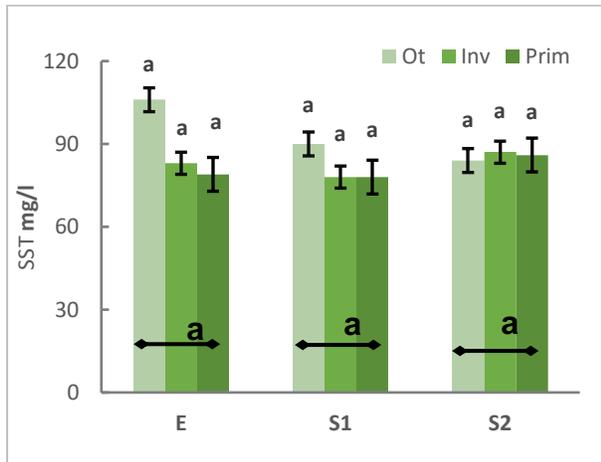


Figura 8. Cuantificación de SST en los sitios de muestreo del presente estudio

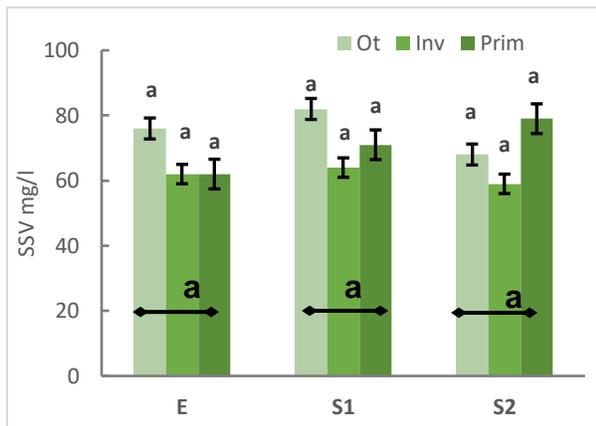


Figura 9. Cuantificación de SSV en los sitios de muestreo del presente estudio

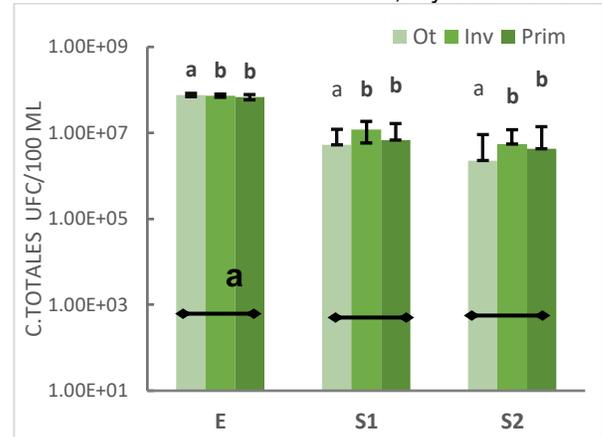


Figura 10. Cuantificación de coliformes totales en los sitios de muestreo del presente estudio.

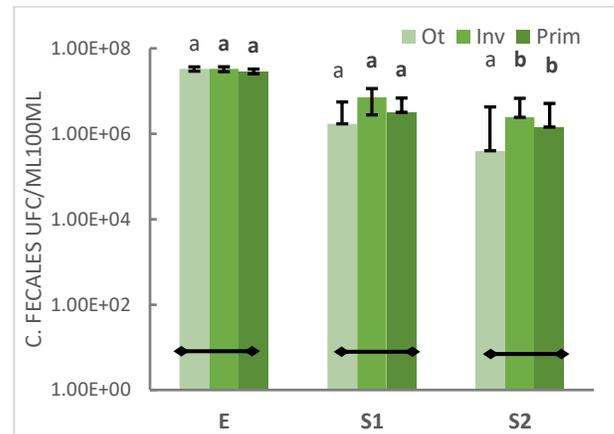


Figura 11. Cuantificación de coliformes fecales en los sitios de muestreo del presente estudio.

En relación con las concentraciones de rotíferos, en S2 (Figura 12) se detectó un incremento del 29 %, no estadísticamente significativo para otoño y primavera, a diferencia de las muestras colectadas en invierno ($p < 0.05$). Con respecto a las poblaciones de protozoarios (Figura 13), sus concentraciones fueron estadísticamente diferentes para las estaciones del año ($p < 0.05$), pero no para los sitios de muestreo. Es importante mencionar que las concentraciones de rotíferos pueden llegar a 12,000 indiv L⁻¹ en lagunas de tratamiento (Amengualmorro et al., 2012; Perl and Pickney, 1999) Los análisis para determinar las concentraciones de microalgas (Figura 14) mostraron una diferencia significativa para estación de año y esta diferencia fue



significativa ($p < 0.05$), en otoño e invierno, para sitio de muestreo.

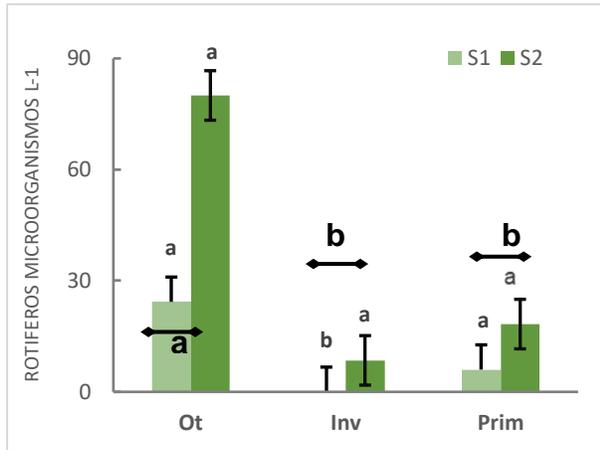


Figura 12. Cuantificación de depredadores en los sitios de muestreo del presente estudio.

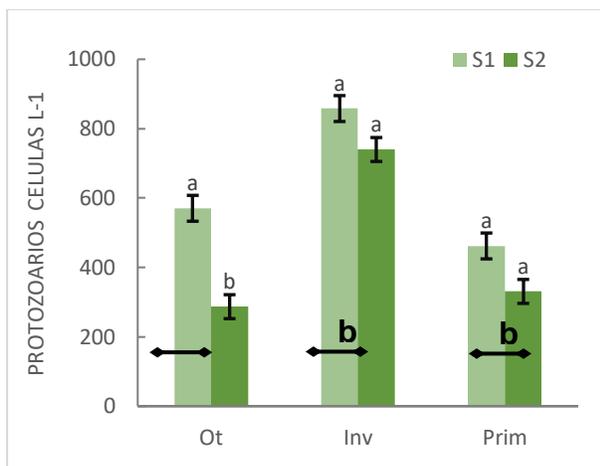


Figura 13. Cuantificación de protozoarios en los sitios de muestreo del presente estudio.

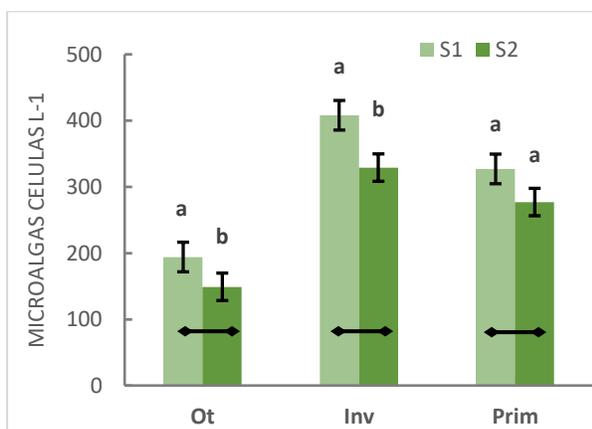


Figura 14. Cuantificación de microalgas en los sitios de muestreo del presente estudio.

Conclusiones

Los resultados observados sugieren que el sistema bajo estudio puede remover en forma importante los organismos indicadores de contaminación fecal, SST y nutrientes. Sin embargo, los tres indicadores sobrepasan los límites permisibles por la NOM-001-ECOL-1996. En general, las concentraciones de protozoarios y microalgas tienden a disminuir a medida que la temperatura disminuye. Sin embargo, estos resultados son preliminares ya que solo fueron observados en tres estaciones del año.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo otorgado para la formación de recursos humanos.

Referencias Bibliográficas

- Amengual-morro, C., Niell, G. M., & Martínez-taberner, A. (2012). Phytoplankton as bioindicator for waste stabilization ponds. *Journal of Environmental Management*, 95, S71–S76.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.07.008>
- Belila, A., B. Abbas, I. Fazaa, N. Saidi, M. Snoussi. A. Hassen y G. Muyzer. (2013) Sulfur bacteria in wastewater stabilization ponds periodically affected by the 'red-water' phenomenon. *Environ. Biotech.*, 97: 379-394.
- Esteban, G.F., B.J. Finlay, A. Warren. (2015). Free-living protozoa. En Thorp. J.H., D.C. Rogers (Editores). *Thorp and covich's freshwater invertebrates* (p.p. 113-132). Elsevier, London.
- Fishera, C.L., C.S. Wardb, P. D. Lanea, J. A. Kimbrelb, K. L. Salec, R. K.



- Stuartb, X.Mayalib, T. W. Lanea. (2019). Bacterial communities protect the alga *Microchloropsis* salina from grazing by the rotifer *Brachionus plicatilis*. *Algal Res.*, 40: 1-9.
- Heum Gi Park, H.G., K.W. Lee, S.H. Cho, H.S. Kim, M.M. Jung y H. S. Kim. (2001) High density culture of the freshwater rotifer, *Brachionus calyciflorus*. *Hydrobiologia*, 446/447: 369-374.
- Jimenez-Santos, M.A., S.S.S. Sarma, S. Nandini, R.L. Wallace. (2019) Sessile rotifers (Rotifera) exhibit strong seasonality in a shallow, eutrophic Ramsar site in Mexico. *Invertebr. Biol.* DOI: 10.1111/ivb.12270.
- Maier R.M. (2015). Biogeochemical Cycling. En Pepper I., C. Gerba, y T. Gentry (Editores). *Environmental Microbiology* (p.p. 339-353).
- NORMA Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público
- Standard, A. P. H. A. (1998). *Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association.
- Pearson, H. (2005). *Microbiology of waste stabilization ponds*. En Shilton, A. (Editor). *Pond Treatment Technology*. International Water Association (IWA), UK.
- Perl, H.W. y J.L. Pinckney (1996) A Mini review of Microbial Consortia: Their Roles in Aquatic Production and Biogeochemical Cycling. *Microb. Ecol.*, 31: 225-247.
- Simbewa, M., M.N.B. Momba y A.L. Okoh. (2008) Potozoan fauna and abundance in aeration tanks of three municipal wastewater treatment plants in the Eastern cape of South Africa. *J. Appl. Sci.*, 8(11): 2112-2117.
- Sit. K., Ahmed, A., & Haque, M. (2012). Performance of Sewage Oxidation Pond in USM Engineering Campus. *Performance of Sewage Oxidation Pond in USM Engineering Campus*. (August).
- Vendramelli, R.A., S. Vijay y Q. Yuan (2016). Phosphorous removal mechanisms in a facultative wastewater stabilization pond. *Water Air and Soil Pollut.*, 227:1-9.



Relación entre calidad e intensidad de luz en la producción de biomasa y capacidad antioxidante en *Rosmarinus officinalis* L.

Luis Enrique Ordóñez-López^{1*}; Humberto Rodríguez-Fuentes¹; Romeo Rojas²; Alejandro Luna-Maldonado¹ y Julia Mariana Márquez-Reyes¹

¹Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía. Calle Francisco Villa S/N, Col. Ex-Hacienda el Canadá, C.P. 66050, General Escobedo, Nuevo León, México.

²Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía, Centro de Investigación y Desarrollo en Industrias Alimentarias, Calle Francisco Villa S/N, Col. Ex-Hacienda el Canadá, C.P. 66050, General Escobedo, Nuevo León, México. Email: luis.ordonezlpz@uanl.edu.mx

Resumen: La intensidad y calidad de luz son factores que influyen en el crecimiento y desarrollo de las plantas, su capacidad antioxidante y absorción nutrimental. En este experimento se evaluaron tres tratamientos de luz LED ($t_1=111.8 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, $t_2=183.7 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, $t_3=191.0 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), se estimó la producción de biomasa seca total (parte aérea + raíz), la capacidad antioxidante con ensayos ABTS^{•+} y DPPH[•] y la cuantificación de polifenoles totales (PFT) por Folin-Ciocalteu en plantas de Romero cultivadas en un sistema Plant Factory. El diseño experimental fue un completamente al azar en parcelas divididas (parcela grande=tratamientos y parcela chica=fecha de muestreo 0, 20, 40 y 60 DDT), una unidad experimental de 15 plantas con 4 repeticiones. Los resultados mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos y fechas de muestreo, siendo el t_3 el de mayor cantidad de biomasa seca y el t_2 para antioxidantes y PFT.

Palabras clave: ABTS^{•+}, DPPH[•], polifenoles, Plant Factory.

Abstract: The intensity and quality of light are factors that influence in growth and development of plants, their antioxidant capacity and nutritional absorption. In this experiment evaluated three LED light treatments ($t_1=111.8 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, $t_2=183.7 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, and $t_3=191.0 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), to estimate the total dry biomass production (aerial part + roots), the antioxidant capacity with ABTS^{•+} and DPPH[•] essays, and the quantification of TPF by Folin-Ciocalteu in rosemary plants grown in a Plant Factory system. The experimental design was completely randomized in divided plots (large plot=treatments and small plot=sampling date 0, 20, 40 and 60 DDT), an experimental unit of 15 plants with 4 replications. The results showed a significant difference between treatments and sampling dates, being the t_3 the highest amount of biomass and t_2 for antioxidants and total polyphenols.

Keywords: ABTS^{•+}, DPPH[•], polyphenols, Plant Factory.

Introducción

La luz es considerada como un factor ambiental indispensable que influye sobre el desarrollo y crecimiento de las

plantas, además de ser la principal fuente de energía para la fotosíntesis y fotomorfogénesis (Jiao, Lau y Deng, 2007; Liu, 2011). Las plantas tienen la capacidad de responder a la intensidad y



calidad de luz (Zhang y Folta, 2012) por medio de distintos fotorreceptores (fitocromos, criptocromos y fototropinas) que se activan bajo longitudes de onda específicas (Liu, 2011). Por ello, los sistemas de iluminación para la producción de cultivos en ambientes controlados son de suma importancia (Kozai, 2007). La calidad (longitud de onda emitida) e intensidad de luz (flujo de fotones por unidad de área a través del tiempo), así como el fotoperiodo (cantidad de horas de luz/oscuridad durante 24 h) son elementos clave de la condición de la luz. Algunas investigaciones recientes (Lin *et al.*, 2013; Johkan *et al.*, 2012; Darko *et al.*, 2014) han demostrado que la combinación de luces LED roja, azul y blanca puede ser una fuente de luz efectiva para el crecimiento y desarrollo de las plantas, y que los espectros, intensidades y duraciones de fotoperiodo pueden ser manipulados fácilmente en sistemas de producción en ambiente con control ambiental total.

Calidad de luz

Se puede definir como el espectro electromagnético de las longitudes de onda que inciden sobre las plantas para poder llevar a cabo la fotosíntesis y otros procesos fisiológicos como biosíntesis, acumulación y retención de fitoquímicos vegetales (Ilić & Fallik, 2017).

Intensidad de luz

La intensidad de luz se refiere a la cantidad o flujo de fotones presentes sobre unidad de superficie en un período de tiempo específico (en este caso $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}$). La intensidad de luz es un factor que influye sobre el crecimiento de las plantas, además de generar un aumento en la acumulación de biomasa (Hunter y Burritt, 2004; Li y Kubota, 2009; Stutte *et al.*, 2009; Johkan *et al.*, 2010).

Fotoperiodo

Es el tiempo (expresado en horas) al cuál está expuesto un organismo a una fuente de luz natural o artificial durante un día. El fotoperiodo influye sobre numerosos procesos metabólicos en las plantas (Nitschke *et al.*, 2017) como la fotosíntesis, floración y crecimiento. En los sistemas de producción en ambientes controlados se tiene un control total del fotoperiodo, obteniendo una mayor producción en menor tiempo y de mejor calidad (mayor acumulación de biomasa y de compuestos antioxidantes; libres de agroquímicos, frutos más uniformes y de mayor calibre, etc.).

Luz Integral Diaria (DLI)

Describe la cantidad total acumulada de fotones fotosintéticamente activos (en un rango de 400–700 nm) recibidos durante un período de 24 h (Craver & López, 2016). Estudios realizados por Currey & López (2015), Faust *et al.* (2005) y Hernández & Kubota (2012) reportaron que la DLI influye en el crecimiento y morfología de las plantas de acuerdo a su acumulación de biomasa, área foliar, número de ramas y flores producidas, además de la altura.

Cultivo de Romero

Rosmarinus officinalis L. es una especie aromática que pertenece a la familia de las labiadas (Labiatae) y es originaria del Mediterráneo. Requiere de suelos bien drenados, con un pH desde ligeramente ácido hasta neutro (5.5-8), climas templados, humedad relativa baja a media y una radiación alta (Bonilla y Martínez, 2010; Castro *et al.*, 2013; González, 2013). El romero se destaca por tener una variedad de compuestos químicos (flavonoides y ácidos fenólicos, como ácido cafeico, rosmarínico y carnósico; monoterpenos, alcanfor, carnosol y rosmanol, entre otros (Montes de Oca, 2010; Tschinggeri & Bucar,



2010; Hassanzadeh *et al.*, 2017), dándole un gran valor en el mercado por sus propiedades medicinales (Pérez, 2014).

Efecto de la luz en la absorción nutrimental

El grado de absorción nutrimental por parte de una planta depende de diversos factores como la especie vegetal, estado fisiológico, así como factores abióticos relacionados con la temperatura, cantidad y calidad de luz, humedad relativa, entre otros (Avendaño, 2019).

Importancia de la luz LED en sistemas con control ambiental total

El término “Plant Factory” se puede definir como una estructura aislada y casi hermética que permite tener un control total de las condiciones ambientales (Kozai, 2013). El uso de diodos emisores de luz (LED) en la producción de especies vegetales en ambientes controlados como los sistemas Plant Factory, nos permite proporcionar niveles de flujo de fotones fotosintéticos más altos (de al menos $500 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) con un índice de radiación de calor bajo en comparación con los sistemas de iluminación por fluorescencia, además de una larga vida útil que les permite mantenerse trabajando por años sin necesidad de un reemplazo (Bourget, 2008; Xu, *et al.*, 2012; Gupta & Jatothu, 2013). Lin *et al.* (2013) reportaron que la combinación de luces LED roja, azul y blanca actúan como una fuente de luz efectiva que influye en el crecimiento y desarrollo de las plantas, ya que los espectros e intensidades, así como la duración del fotoperiodo pueden ser controladas fácilmente en sistemas de producción en ambientes controlados como un Plant Factory. Se ha demostrado previamente que la luz está relacionada con la calidad del aceite esencial de romero, aumentando o

disminuyendo la concentración de varios constituyentes como el canfeno y α -pineno. Mulas (2006) evaluó el efecto de la luz en la calidad del aceite esencial de romero, sugiriendo que la sobreexcitación del fitocromo, que actúa como un fotoreceptor de la luz roja (600-700 nm) y roja lejana (700-800 nm) incrementó la síntesis del aceite esencial de romero a diferencia del tratamiento testigo (el cual no tuvo aplicación de luz suplementaria).

Con base en lo anterior los objetivos de esta investigación fueron: Evaluar el efecto de la intensidad y calidad de luz LED ($t_1=111.8$; $t_2=183.7$ y $t_3=191.0 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) en la producción de biomasa seca, la capacidad antioxidante y producción de polifenoles totales en extractos de hojas frescas de *Rosmarinus officinalis* L.

Materiales y Métodos

La investigación se llevó a cabo en los Laboratorios de Hidroponía y Ambientes Controlados y de Química y Bioquímica del Campus de Ciencias Agropecuarias de la UANL, ubicado en el municipio de General Escobedo, Nuevo León, México.

Sistema de Producción Plant Factory

Los cultivos se establecieron en un sistema de producción hidropónico con control ambiental total de las condiciones ambientales y la nutrición vegetal (Kozai & Niu, 2016). El sistema de producción empleado para el cultivo de Romero hidropónico fue de tipo NFT (Nutrient Film Technique) en forma de torre, compuesto de canales de PVC (policloruro de vinilo) de 110 mm de diámetro (Samperio, 2004; Avendaño, 2019). Las condiciones ambientales promedio fueron las siguientes: 22.7 °C temperatura del aire (± 1.6) y 25 °C de temperatura en solución nutritiva (± 2),



2.58 dS/m de conductividad eléctrica (± 0.04), 40.6% de humedad relativa (± 7.9) y 329.1 ppm de CO₂ (± 38.2).

Iluminación con diodos emisores de luz (LED)

La iluminación fue asistida con lámparas LED de tipo tubulares T8 en color rojo, azul (modelo 21019, DUBAI) y blanco frío (modelo ML-TU-CR1 de DLM S de R. L. de C. V., México). Las proporciones de luz rojo:azul (Cuadro 1) de los distintos tratamientos estuvieron distribuidos de la siguiente manera: $t_1=3.81:1$; $t_2=3.51:1$ y $t_3=3.16:1$.

Cuadro 1. Composición de radiación electromagnética emitida por fuentes de iluminación artificial.

Color	Longitud de onda	Intensidad de luz ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)		
		t ₁	t ₂	t ₃
Violeta	380-450	21.74	40.18	43.27
Azul	450-495	11.68	32.10	23.08
Verde	495-570	0.00	0.00	24.01
Amarillo	570-590	0.00	0.00	3.65
Naranja	590-620	0.84	7.43	9.47
Rojo	620-750	71.57	104.1	87.52
Proporción rojo:azul		3.81:1	3.51:1	3.16:1
Total		111.8	183.7	191.0
(DLI) en Moles		9.65	15.87	16.50

*DLI=Luz Integral Diaria

Solución nutritiva

La solución nutritiva (Cuadro 2) utilizada para el cultivo de Romero hidropónico fue la propuesta por Rodríguez *et al.* (2011), utilizando fertilizantes comerciales y considerando la calidad de agua empleada para su elaboración, que fue de: 7.86 de pH, 0.68 dS/m de conductividad eléctrica, 24.7 °C de temperatura y 85.2 ppm de cloro, suficiente para cubrir los requerimientos del cultivo, por lo que no fue necesario la adición de este microelemento. La solución nutritiva fue completamente renovada cada 7 días, tomando en cuenta los parámetros anteriores.

Cuadro 2. Solución nutritiva estándar empleada y fuentes de nutrientes comerciales.

Elemento	Concentración (mg L ⁻¹)	Fuente
N	200	-----
P	60	NH ₄ H ₂ PO ₄
K	250	KNO ₃
Ca	200	Ca(NO ₃) ₂ •4H ₂ O
Mg	50	Mg(NO ₃) ₂
S	100	H ₂ SO ₄
Fe	0.5	FeSO ₄ •7H ₂ O
Mn	0.25	MnSO ₄ •H ₂ O
B	0.25	H ₃ BO ₃
Cu	0.03	CuSO ₄ •5H ₂ O
Zn	0.25	ZnSO ₄ •H ₂ O
Mo	0.01	Na ₂ MoO ₄ •2H ₂ O

Diseño experimental

El diseño experimental utilizado para el análisis estadístico fue un completamente al azar (DCA) con un diseño de tratamientos en parcelas divididas con 4 repeticiones, en donde la unidad experimental fue de 15 plantas. Las parcelas estuvieron compuestas por 3 tratamientos de luz (en parcela grande) y 4 fechas de muestreo (en parcela chica). El tamaño de muestra para los dos ensayos (biomasa seca y capacidad antioxidante) fue de una planta por cada repetición para cada fecha de muestreo (0, 20, 40 y 60 DDT). Se utilizó el mismo criterio de análisis para ambos ensayos. Los resultados obtenidos fueron analizados con el Software Estadístico InfoStat versión 2019 (actualizada el 20/09/2019) y se realizó una comparación de medias por Tukey ($p \leq 0.05$) con ayuda del Paquete estadístico de diseños experimentales (programa de cómputo) versión 2.5 de la FAUANL.

Material vegetal

Las plantas de romero fueron adquiridas en un vivero comercial de la zona, teniendo una altura promedio de 15 cm (± 2) y de 3 a 4 mm de ancho (tomando en cuenta la base del tallo), con un peso fresco y seco promedio de 7.95 g y 1.12



g, respectivamente. Se retiraron las hojas que presentaron problemas de estrés por falta de luz. Las plantas se colocaron en el sistema NFT sin ningún residuo de sustrato (únicamente se utilizó una tela de esponja para darle soporte) y se sembró a una densidad de población de 60 plantas por m⁻².

Ensayo 1 – Determinación de biomasa seca

Se colectó una planta completa (parte aérea + raíz) por repetición, se tomó el peso fresco de cada planta con ayuda de una balanza analítica y después se colocaron dentro de una estufa a 50 °C hasta obtener un peso constante (período aproximado de 5 a 7 días). Los muestreos se llevaron a cabo al inicio del experimento y cada 20 días hasta el final del ciclo, que tuvo una duración de 60 días.

Ensayo 2 – Análisis para antioxidantes y compuestos fenólicos

Se evaluó la capacidad antioxidante de los compuestos fenólicos obtenidos de la maceración de hojas frescas de Romero mediante ensayos de ABTS•+ (2,2'azinobis-(3-etilbenzotiazolina)-6-sulfónico) y DPPH• (2,2-difenil-2-picril-hidrazilo). Las hojas de las plantas colectadas fueron maceradas en un mortero de cerámica y posteriormente se pesó 1 g de muestra para cada una de las repeticiones. Las muestras se colocaron en tubos de poliestireno graduados a 15 mL, al mismo tiempo que se agregaron 10 mL de metanol puro con ayuda de una micropipeta de 5 mL. Para la extracción de los compuestos bioactivos se utilizó una medida de relación sólido:líquido de 1:10 (p/v), utilizando agua destilada como diluyente (Gomes *et al.*, 2020; Erkan, Aytanci & Eyranci, 2008; Molnár, Rippel-Petho & Bocsi, 2013; Vicente *et al.*, 2011). La dilución se preparó con 1.8 mL de H₂O

destilada más 0.2 mL de muestra en tubos de microdilución marca Eppendorf™ de 2 mL, en color ámbar. Las muestras fueron colocadas respectivamente con micropipetas analíticas de distintos volúmenes sobre microplacas de poliestireno con 96 cavidades (pocillos), transparentes y con forma de “U” al fondo. Cada muestra y curva de calibración se analizó por triplicado sobre la microplaca. Para la lectura de las absorbancias se empleó un Lector Multi-Modal de Microplacas Synergy™ HTX, marca BioTek©. Debido a la sensibilidad de los análisis antioxidantes se aplicó un criterio del 8% a los valores obtenidos en la absorbancia para evitar errores de variación en los resultados. El criterio consiste en analizar por triplicado cada una de las muestras y obtener la media de los tres valores, considerando para el promedio final solo aquellos que tengan una diferencia menor al 8% con respecto a la media. La cuantificación de polifenoles totales se evaluó por el método de Folin-Ciocalteu, donde el criterio de evaluación para los resultados obtenidos fue el mismo que se utilizó para el resto de los análisis de antioxidantes.

Resultados y Discusión

Los resultados del análisis estadístico mostraron una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en la producción de biomasa seca total (Figura 1), donde el t₃ tuvo la mayor cantidad de materia seca en cada uno de los muestreos, lo cual puede atribuirse a una mayor intensidad de luz y la adición de luz LED de colores blanco y verde en la composición del espectro. Estos resultados coinciden con los reportados por Folta (2004) y Kim *et al.* (2004), quienes afirman que la luz verde actúa como un regulador de crecimiento, y a Ahmad *et al.* (2016) quienes reportaron que la luz LED blanca resultó ser la más



efectiva para la acumulación de biomasa seca en el cultivo de *Stevia rebaudiana* (Bert.) (establecido en un sistema similar a un Plant Factory) en comparación con el resto de los tratamientos suplementados únicamente con luces de color azul, verde o rojo.

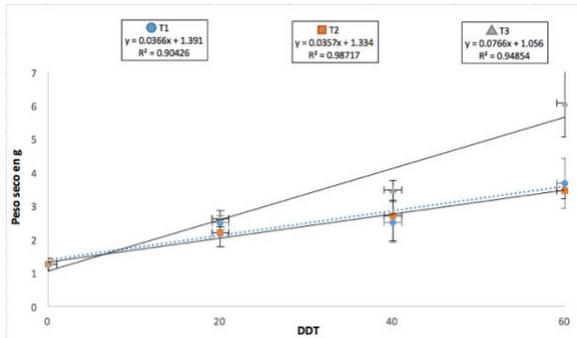


Figura 1. Producción total de materia seca (g) por tratamiento en cada uno de los muestreos.

Loreto (1996) reporta que la intensidad de luz está fuertemente relacionada con la actividad fotosintética de las plantas, por lo tanto, la fijación de carbono, el crecimiento vegetativo y la acumulación de materia seca están determinados por este factor. Mientras que Raffo (2020) reportó una disminución en el peso fresco y seco total en plantas de Romero de hasta un 55% y 59%, respectivamente, al disminuir la intensidad de luz en un 75% respecto a la cantidad máxima (100%). Para el t_2 se obtuvo una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en comparación al resto de los tratamientos para la actividad antioxidante (Figuras 2 y 3) y contenido de PFT (Figura 4), debido a una mayor proporción de luz roja:azul (3.51:1), lo cual indica que existe una interacción entre los rangos de luz establecidos en el t_2 (380-450, 450-495, 590-620 y 620-750 nm) y la sobreexcitación de fitocromos presentes en la planta que actúan bajo longitudes de onda específicas (entre 660-730 nm) y pueden generar incrementos en la acumulación de compuestos antioxidantes, vitamina C,

carotenoides, antocianinas, flavonoides y PFT. (Lefsrud *et al.*, 2008; Li y Kubota, 2009; Stutte *et al.*, 2009; Žukauskas *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2012).

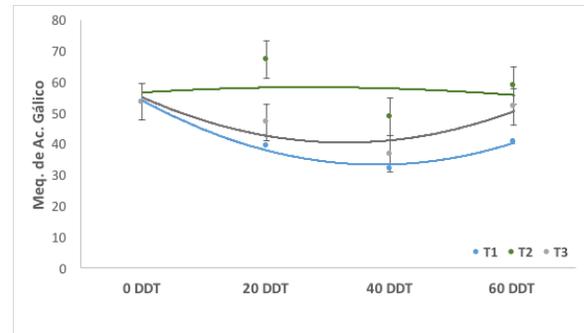


Figura 2. La comparación de medias por Tukey mostró una diferencia significativa entre los tratamientos ($p \leq 0.05$) para la actividad antioxidante por DPPH.

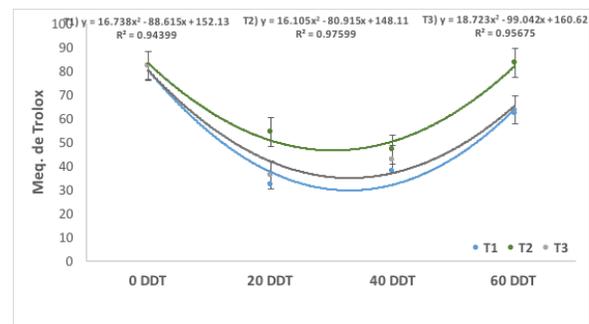


Figura 3. Los resultados de ABTS $\bullet+$ muestran una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre tratamientos, siendo el t_2 el que obtuvo una mayor acumulación de antioxidantes para los 4 muestreos.

Los resultados obtenidos coinciden a los reportados por Fan *et al.* (2013), donde la mayor concentración de compuestos fenólicos se obtuvo bajo el tratamiento con mayor intensidad de luz LED de color azul.

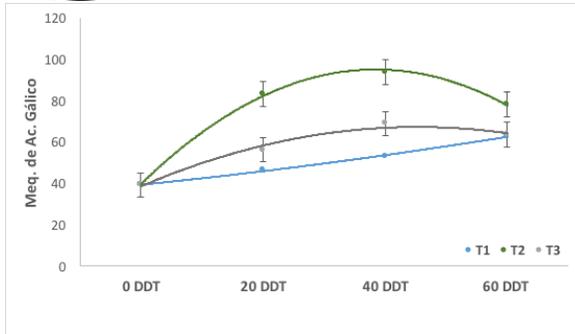


Figura 4. Diferencia entre tratamientos para la cuantificación de polifenoles totales (PFT) a través del tiempo.

Los resultados obtenidos de los análisis estadísticos también mostraron una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre la interacción de los tratamientos de luz y las fechas de muestreo para los ensayos de ABTS y Folin-Ciocalteu (Cuadro 3), mientras que para DPPH no se obtuvo una diferencia significativa entre la interacción de dichos factores por lo cual no fueron incluidos sus resultados en el siguiente cuadro.

Cuadro 3. Resultados de la interacción entre factores de luz*fecha de muestreo, en donde el t_2 tuvo la mayor actividad antioxidante y cantidad de polifenoles totales para todos los muestreos. Las diferencias significativas se muestran por hileras.

Fecha de Muestreo	Diferencia de Medias por tratamiento		
	t_1	t_2	t_3
0 DDT	82.17 a	82.17 a	82.17 a
20 DDT	31.81 b	54.09 a	36.09 b
40 DDT	37.61 a	46.92 a	42.68 a
60 DDT	62.14 b	83.26 a	63.55 b
0 DDT	39.16 a	39.16 a	39.16 a
20 DDT	46.28 b	83.25 a	56.18 b
40 DDT	53.17 c	93.80 a	68.87 b
60 DDT	62.60 b	77.95 a	63.49 b

■ ABTS•+, ■ Folin-Ciocalteu.

Conclusiones

La relación 3.16:1 de luz LED rojo:azul suplementado con luz blanca y una intensidad de $191.0 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ establecida en el t_3 tuvo un incremento del 49.59% en el peso seco total a los 60 días en comparación al t_1 (con una

relación 3.51:1 y una intensidad de $111.8 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) y del 54.14% sobre el t_2 (con una relación rojo azul de 3.81:1 y $150.46 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ de intensidad de luz) lo cual está relacionado con la estimulación de la fotosíntesis neta que ocurre bajo rangos específicos del espectro electromagnético (450-495, 495-570 y 620-750 nm).

Los resultados del análisis estadístico mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos, donde el t_2 obtuvo la mayor concentración de polifenoles totales y la mayor actividad antioxidante para ensayos de ABTS•+ y DPPH•, debido a las condiciones específicas de calidad e intensidad de luz presentes en el t_2 y la respuesta del cultivo de Romero bajo estas condiciones.

Agradecimientos: Los autores agradecen al CONACYT, a la Facultad de Agronomía, UANL y al proyecto CONACYT-CONAFOR 2018-1-B-S-65769 por el financiamiento otorgado para el desarrollo de este proyecto.

Referencias Bibliográficas

- Ahmad, N., Rab, A., & Ahmad, N. (2016). Light-induced biochemical variations in secondary metabolite production and antioxidant activity in callus cultures of *Stevia rebaudiana* (Bert). *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 154, 51-56.
- Avendaño, V. (2019). Influencia de la intensidad y calidad de luz en el crecimiento y propiedades antioxidantes en cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo sistema de producción fábrica de plantas (tesis doctoral). FAUANL, Nuevo León, México.



- Bonilla, C., Martínez, F. 2010. Romero (*Rosmarinus officinalis* L.) Producción y manejo poscosecha. Corredor Tecnológico Agroindustrial. Cámara de Comercio de Bogotá. Colombia. 102 p.
- Bourget, C. M. (2008). An introduction to light-emitting diodes. *HortScience*, 43, 1944-1946.
- Castro, D., Díaz J., Serna, R., Martínez, D., Urrea, P., Muñoz, K., Osorio, E. 2013. Cultivo y producción de plantas aromáticas y medicinales. Universidad Católica de Oriente. Segunda edición. Rionegro. 98 p.
- Craver, J. K., & Lopez, R. G. (2016). Control of Morphology by Manipulating Light Quality and Daily Light Integral Using LEDs. *LED Lighting for Urban Agriculture*, 203–217.
- Currey, C. & Lopez, R. (2015). Biomass accumulation and allocation, photosynthesis, and carbohydrate status of impatiens, pelargonium, and petunia cuttings are affected by photosynthetic daily light integral during root development. *J Am Soc HortScience* 140:542–549.
- Darko, E., Heydarizadeh, P., Schoefs, B., & Sabzalian, M. R. (2014). Photosynthesis under artificial light: the shift in primary and secondary metabolism. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369(1640), 20130243.
- Erkan N, Aytanci G, and Eyranci E, Antioxidant activities of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) extract, blackseed (*Nigella sativa* L.) essential oil, carnosic acid, rosmarinic acid and sesamol. *Food Chem*, 110: 76–82 (2008).
- Fan, X. X., Xu, Z. G., Liu, X. Y., Tang, C. M., Wang, L. W., & Han, X. L. (2013). Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. *Scientia Horticulturae*, 153, 50-55.
- Faust, J., Holcombe V. & Rajapakse, N., Layne, D. (2005). The effect of daily light integral on bedding plant growth and flowering. *HortScience* 40:645–649.
- Folta, K. M. (2004). Green light stimulates early stem elongation, antagonizing light-mediated growth inhibition. *Plant Physiology*, 135(3), 1407-1416.
- Gomes, P. G. C., Veloso, A. F., Maynard, I. F. N., Marques, M. N., Souza, R. L., Pereira, M. M., ... Lima, Á. S. (2020). Integrative process to extract chlorophyll and purify rosmarinic acid from rosemary leaves (*Rosmarinus officinalis*). *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*.
- González, A. 2013. Guía técnica del cultivo de romero (*Rosmarinus officinalis* L.). Edit. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur, México. 72p.
- Gupta, S. D., & Jatothu, B. (2013). Fundamentals and applications of light-emitting diodes (LEDs) in in vitro plant growth and morphogenesis. *Plant Biotechnology Reports*, 7(3), 211-220.
- Hassanzadeh, K., Aliniaiefard, S., Farzinia, M. M., & Ahmadi, M. (2017). Effect of Phenological Stages on Essential Oil Content, Composition and Rosmarinic Acid in *Rosmarinus officinalis* L. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 4(2), 251-258.
- Hernández, R. & Kubota, C. (2012). Tomato seedling growth and morphology responses to supple-



- mental LED lighting red:blue ratios under varied daily solar light integrals. *Acta Horti* 956:187–194.
- Hunter, D. C., & Burritt, D. J. (2004). Light quality influences adventitious shoot production from cotyledon explants of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant*, 40(2), 215-220.
- Ilić, Z. S., & Fallik, E. (2017). Light quality manipulation improves vegetable quality at harvest and postharvest: A review. *Environmental and Experimental Botany*, 139, 79-90.
- Jiao, Y., Lau, O. S., & Deng, X. W. (2007). Light-regulated transcriptional networks in higher plants. *Nature Reviews Genetics*, 8(3), 217.
- Johkan, M., Shoji, K., Goto, F., Hahida, S. N., & Yoshihara, T. (2012). Effect of green light wavelength and intensity on photomorphogenesis and photosynthesis in *Lactuca sativa*. *Environmental and Experimental Botany*, 75, 128-133.
- Johkan, M., Shoji, K., Goto, F., Hashida, S. N., & Yoshihara, T. (2010). Blue light-emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce. *HortScience*, 45(12), 1809-1814.
- Kim, H. H., Goins, G. D., Wheeler, R. M., & Sager, J. C. (2004). Green-light supplementation for enhanced lettuce growth under red-and blue-light-emitting diodes. *HortScience*, 39(7), 1617-1622.
- Kozai, T. (2013). Resource use efficiency of closed plant production system with artificial light: Concept, estimation and application to plant factory. *Proceedings of the Japan Academy. Series B, Physical and Biological Sciences*, 89, 447.
- Kozai, T., 2007. "Propagation, grafting and transplant production in closed systems with artificial lighting for commercialisation in Japan". *Propagation of Ornamental Plants*, 7: 145-149.
- Kozai, T. & G. Niu (2016). Introduction. In T. Kozai, G. Niu, & M. Takagaki (Eds.). *Plant Factory: an indoor vertical farming system for efficient quality food production* (p. 3-5). Academic Press. London, UK.
- Lefsrud, M. G., Kopsell, D. A., & Sams, C. E. (2008). Irradiance from distinct wavelength light-emitting diodes affect secondary metabolites in kale. *HortScience*, 43(7), 2243-2244.
- Li, H., Tang, C., Xu, Z., Liu, X., & Han, X. (2012). Effects of different light sources on the growth of non-heading Chinese cabbage (*Brassica campestris* L.). *Journal of Agricultural Science*, 4(4), 262-273.
- Li, Q., & Kubota, C. (2009). Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. *Environmental and Experimental Botany*, 67(1), 59-64.
- Lin, K. H., Huang, M. Y., Huang, W. D., Hsu, M. H., Yang, Z. W., & Yang, C. M. (2013). The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. capitata). *Scientia Horticulturae*, 150, 86-91.
- Liu, X.Y., Chang, T.T., Guo, S.R., Xu, Z.G. & Li, J. 2011. Effect of different light quality of LED on growth and photosynthetic character in cherry tomato seedling. *Acta Horticulturae* 907: 325–330.
- Loreto F, Ciccioli P, Cecinato A et al (1996) Influence of environmental factors and air composition on the emission of [alpha]-pinene from quercus ilex leaves. *Plant Physiol* 110:267–275.



- Molnár, E., Rippel-Petho, D. & Bocsi, R. (2013). Solid-liquid extraction of chlorophyll from microalgae from photototroph open-air cultivation. *Hung J Ind Chem*, 41: 119-122.
- Montes de Oca, R.G. 2010. Elaboración y control de comprimidos fitofarmacéuticos de ajeno (*Artemisia absinthium* L), romero (*Rosmarinus officinalis* L.) y manzanilla (*Matricaria chamomilla* L.) para combatir la menstruación dolorosa. Tesis de Licenciatura. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- Nitschke, S., Cortleven, A., & Schmülling, T. (2017). Novel stress in plants by altering the photoperiod. *Trends in plant science*, 22(11), 913-916.
- Raffo, A., Mozzanini, E., Nicoli, S. F., Lupotto, E., & Cervelli, C. (2020). Effect of light intensity and water availability on plant growth, essential oil production and composition in *Rosmarinus officinalis* L. *European Food Research and Technology*, 246(1), 167-177.
- Rodríguez, H., Rodríguez, J., Almaguer, P. & Rodríguez, J. (2011). Cultivo hidropónico del Nopal. México: Trillas S.A. de C.
- Samperio, G. (2004). Un paso más en la hidroponía. Editorial Diana, S.A. de C.V. México, D.F.
- Stutte, G. W., Edney, S., & Skerritt, T. (2009). Photoregulation of bioprotectant content of red leaf lettuce with light-emitting diodes. *HortScience*, 44(1), 79-82.
- Tschinggerl, C. & Bucar, F. (2010). Investigation of the vol- atile faction of rosemary infusion extracts. *Scientia Pharmaceutica*, 1(4), 483-492.
- Vicente, G., Villanueva, D., García-Risco, M. R., Fornari, T., & Reglero, G. (2011). Extracción de hojas de romero (*Rosmarinus Officinalis*) utilizando solventes líquidos presurizados. Instituto de Investigación en Ciencias de la Alimentación CIAL (CSIC-UAM). Universidad Autónoma de Madrid, España. 95-96.
- Zhang, T., & Folta, K. M. (2012). Green light signaling and adaptive response. *Journal Plant Signaling & Behavior*, 7, 1-4.



Inoculación con *Rhizobium phaseoli* en tres genotipos de *Phaseolus vulgaris* L. bajo dos densidades poblacionales

Shener Cean¹, José Elías Treviño-Ramírez¹, Francisco Zavala-García¹, Juanita Guadalupe Gutiérrez-Soto¹, Guillermo Niño-Medina¹, Jesús Andrés Pedroza-Flores¹, Omar Guadalupe Alvarado-Gomez¹

¹Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León. Calle Francisco Villa S/N, Col. Ex Hacienda El Canadá, Gral. Escobedo, N.L. C.P. 66054. México, tel. (55) 1441 5002. E-mail: shenercean@gmail.com

Resumen: El uso de *Rhizobium* permite al cultivo de frijol un mejor crecimiento en condiciones de suelo con bajo contenido de nitrógeno, incrementa su rendimiento, incluyendo darles resistencia a algunos agentes causales de enfermedades de importancia económica. Con base a lo anterior, este trabajo tiene como objetivo el cuantificar el efecto de *Rhizobium phaseoli* en la semilla del frijol para evaluar el comportamiento morfológico, rendimiento de grano bajo dos densidades poblacionales. De las tres variedades evaluadas, Pinto americano fue la más precoz, pero con menor rendimiento de grano. Por lo tanto, Flor de mayo fue la más tardía con mayor rendimiento de grano. Los resultados indicaron un efecto positivo de las densidades de población sobre los componentes del rendimiento del grano de frijol. El mejor resultado fue logrado por la densidad de 250,000 plantas por hectárea e incrementó la productividad alcanzando 3.41 ton ha⁻¹.

Palabras claves: Bacteria, Microorganismos, Precocidad, Rendimiento.

Abstract: The use of *Rhizobium* allows bean cultivation to grow better in soil conditions with low nitrogen content, increases its yield, including giving resistance to some causal agents of diseases of economic importance. Based on the above, this work aims to quantify the effect of *Rhizobium phaseoli* in bean seed to evaluate morphological behavior, grain yield under two population densities. Of the three varieties evaluated, American Pinto was the earliest with the lowest yield. Therefore, Flor de mayo was the latest with the highest yield. The results indicated a positive effect of the planting densities on the bean grain yield indicators. The best result was achieved due to the density of 250,000 plants per hectare and increased productivity by 3.41 ton / ha.

Keywords: Bacterium, Microorganisms, Precocity, Yield.

Introducción

El frijol es la principal fuente de proteína para la gran parte de la población mexicana por su bajo costo de proteína (Guzmán-Soria *et al.*, 2019), este contiene compuestos fenólicos con actividad antioxidante (Milán-Carrillo *et al.*, 2017). La inoculación de frijol con *Rhizobium phaseoli* genera mayor número de nódulos y mayor aporte de nitrógeno al cultivo

(Nápoles *et al.*, 2016), puede aprovechar el nitrógeno del aire (N₂) a través de esa asociación sin la necesidad de utilizar nitrógenos sintetizados que dañan al suelo. Este microorganismo favorece el crecimiento del cultivo sin perjudicar al suelo (Martínez y López, 2000), por ser un producto natural, no contamina (Saldaña, 2017). Su utilización mantiene el rendimiento (Moreno *et al.*, 2005), aumenta la fertilidad del suelo y en la



semilla del frijol disminuye el ataque de *Fusarium solani*, (Estévez de Jensen *et al.*, 2000).

En la agricultura, el nitrógeno es el principal nutriente para el crecimiento de las plantas. Un suelo pobre en nitrógeno tiene baja productividad y la mayoría de las plantas son incapaces de fijar el nitrógeno del aire (García, 2011). El rendimiento de frijol puede bajar hasta un 26.64% en un suelo con deficiencia de nitrógeno (Cedano *et al.*, 2000). En el suelo agrícola, la aplicación incontrolada de los fertilizantes químicos genera cambio en la estructura y la biodiversidad del suelo (Saavedra *et al.*, 2017). Pues, la fijación biológica de nitrógeno se reconoció como una alternativa para disminuir los problemas que pueden generar con el uso de agroquímicos (Hernández y Salido, 2019).

Después del agua, el nitrógeno es el elemento nutritivo más abundante en la atmósfera, al mismo tiempo es el factor más limitante para el buen desarrollo de las plantas. Debido a su inaccesibilidad a la forma en que se encuentra en el aire (N_2) para la mayoría de las plantas, por lo que pocas tienen la capacidad de aprovecharlo (Fernández-Pascual *et al.*, 2002).

Los Rhizobios son bacterias del suelo que pueden entablar una simbiosis con plantas leguminosas que producen nódulos radiculares fijadores de nitrógeno, por lo que es su principal característica (Acosta-Gallegos *et al.*, 2014). Esta simbiosis se basa en el reconocimiento específico de las moléculas de señal, que son producidas tanto por la bacteria (factor nod) y socios de planta (Flavonoides) (Spaink, 2000). También se reconoce como el sistema de fijación del N_2 más importante debido a su eficiencia en la fijación de nitrógeno y su adaptabilidad en condiciones adversas como en regiones áridas con cantidad extrema de salinidad, alcalinidad, acidez, sequía, fertilizantes.

Pues, en estas condiciones, esta simbiosis es la mejor fuente del fertilizante ideal (Zahran, 1999).

Con respeto al hecho que la presencia del *Rhizobium* en la semilla del frijol, podría tener un efecto positivo en el comportamiento morfológico, la calidad de grano, la productividad del cultivo y la fertilidad del suelo.

Con base en este supuesto, el objetivo de este trabajo fue determinar el efecto sobre la interacción entre el *Rhizobium* sp. y los diferentes genotipos de frijol, bajo dos densidades de población y el rendimiento de grano y otras variables agronómicas.

Materiales y Métodos

El presente trabajo se llevó a cabo en la región semi árida de Marín de la Facultad de Agronomía - UANL, en el campo experimental Unidad Marín, ubicado en Carretera Zuazua - Marín Km. 17.5 en el municipio de Marín, Nuevo León, con una altitud de 396 msnm., coordenadas 25° 52' latitud norte y 100° 02' longitud oeste (INEGI, 2017), con una temperatura y precipitación promedio anual de 22°C y 573 mm, respectivamente (INAFED, 2009).

Esa investigación se desarrolló bajo condiciones de riego por goteo muy irregular. Se sembró en seco el 30 de agosto, y el cultivo se arrancó el 3 de septiembre 2019 después de una precipitación fuerte. Durante el transcurso de ese estudio, se registró una temperatura media de 19.12 °C y una precipitación total de 251.4 mm (CONAGUA, 2019). Se realizó la cosecha el 16 de diciembre del mismo año.

Diseño experimental

Para el desarrollo del experimento, se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con arreglo en parcelas subdivididas, en el que los factores son los siguientes:



Rhizobium (con dos niveles semillas: con y sin *Rhizobium*), tres variedades de frijol en parcela media (V_1 =flor de mayo, V_2 =pinto americano y V_3 =Pinto saltillo) y 2 densidades poblacionales en parcela pequeña: D_1 =250,000 plantas/ha (0.05 m) y D_2 =125,000 plantas/ha (0.10 m). Los 12 tratamientos fueron dispuestos en 4 bloques completos sobre una superficie total de 851.2 m² (30.4 m x 28 m).

Variables evaluadas

Días a floración, días a madurez, número de vainas por planta, longitud de vainas, número de semillas por vaina, peso de 100 semillas, rendimiento de grano por hectárea, reacción de resistencia a enfermedades, número de nódulos y tamaño de nódulos por planta y Longitud de la guía o tallo.

Variables pendientes

Calidad nutrimental de la semilla. Compuestos fenólicos, capacidad antioxidante, nivel de fertilidad de suelo. Para el análisis estadístico de los datos, se usó el análisis de varianza (ANVA) y separación de medias por diferencia mínima significativa (DMS) del programa de Dr. Olivares (2019).

Resultados y Discusión

Días a floración y madurez fisiológica

De los tres genotipos evaluados (Figura 1), Pinto americano fue el más precoz, su tiempo para días a floración y a madurez fueron 38 y 78 días después de la siembra. Pero, Flor de mayo fue el genotipo más tardío de las variables antes mencionadas, 50 y 98 DDS. Sin embargo, estos resultados no fueron similares a los reportados por INIFAP, (2004), donde ambos genotipos tardaron más tiempo

comparado a los encontrados en este estudio.

Dieudonné e Ismael, (2017) mencionan que el cultivo de frijol se determina su producción por factores bióticos y abióticos. Bajo las mismas condiciones ambientales, la diferencia de expresión en relación con el número de días a floración y a madurez está determinada genéticamente. Por otra parte, Rosales *et al.* (2000), quienes investigaron sobre el rendimiento de frijol común bajo la sequía en condiciones de campo, reportaron que en años críticos de estrés hídrico, se inició la floración más temprano. Entonces, los factores mencionados anteriormente fueron destacados en este trabajo de investigación.

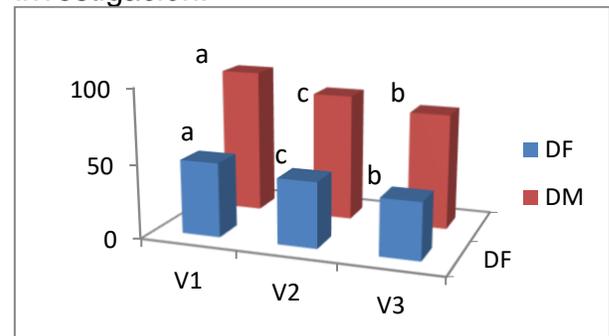


Figura 1. Comparación de medias para las variables días a floración (DF) y días a madurez fisiológica (DMF).

Numero de vainas por planta

Con los resultados obtenidos en el análisis estadístico, se encontraron diferencias significativas entre las variedades, también entre las densidades poblacionales, por lo que se realizó una comparación de medias para los factores genotipos y densidades poblacionales. Se observó que no hubo diferencias significativas entre Flor de mayo y Pinto Saltillo, pero se encontró significancia entre estos dos y Pinto americano. Flor de mayo fue la variedad con mayor número de vainas, seguida por Pinto Saltillo y por último Pinto americano que presentó un menor número de vainas (Figura 2). Los resultados encontrados para las tres



variedades se encontraron en un rango de 12.29 – 16.75 vainas fueron superior a los reportados por Rodríguez *et al.* (2015) quienes encontraron valores entre 13.54 a 14.80 vainas por planta; no coincidieron a los encontrados por Olivera *et al.* (2016) quienes obtuvieron valores entre 13 a 20 vainas por planta.

Estas diferencias de rendimiento obtenidas entre las variedades dependen quizás del ambiente en que se realizó el estudio y también de las características genotípicas varietales (Negrin *et al.*, 2013). Sin embargo, Osuna-Ceja *et al.* (2013) afirmaron que el estrés hídrico reduce el número de vainas por planta, afecta el rendimiento de grano sin depender del método de siembra y genotipo. Por otra parte, Sirpa (2018) y Zaldívar *et al.* (2017) expresaron que el periodo de siembra influye en el número de vainas por la planta.

Para el factor densidad poblacional, se observó mayor número de vainas en la densidad baja (0.10m=16.77 vainas contra 0.05m=13.66 vainas); eso se debe a la menor competencia entre las plantas por la luz y nutrientes, lo cual genera plantas más vigorosas con frutos de mayor tamaño y biomasa (Calero *et al.*, 2018). Este resultado concordó con lo encontrado por Rodríguez *et al.* (2017) quienes evaluaron diferentes densidades de plantas. Sobre esto, Alves *et al.* (2008) indicaron que en densidades poblacionales que oscilan entre 100, 000 – 500, 000 plantas ha⁻¹, se observó una disminución en el número de vainas sin verse afectada la productividad de grano.

Longitud de vaina por planta

De acuerdo con el análisis de varianza de la longitud de vaina, se observó que hubo diferencias significativas entre los niveles de inoculantes donde el promedio de la longitud de vaina del frijol no inoculado fue superior, logrando un valor de 10.47 cm

contra 10.07 cm del frijol inoculado. Eso se debe probablemente a la respuesta de la competitividad de las cepas nativas de *Rhizobium* en el suelo, a la inadaptación de las cepas introducidas donde se desarrolló el experimento, lo encontrado anteriormente coincide con lo reportado por Dabessa *et al.* (2018), porque los nódulos que se observaron en el frijol que no fue inoculado comprobaron que existen cepas nativas en el suelo.

También existieron diferencias altamente significativas entre las variedades donde la variedad Pinto americano fue superior a las otras dos, y la variedad con menor promedio de esa variable fue Flor de mayo (Figura 2). Sobre esto, (Sirpa, 2018) afirmó que, en frijol, la longitud de vaina depende principalmente de la genética de cada genotipo.

Numero de semillas por vaina

De acuerdo con la ANOVA, hubo significancia entre los genotipos. Y la DMS no presentó diferencias significativas entre Pinto americano y Flor de mayo, por lo tanto, hubo significancia entre ambos y Pinto Saltillo (Figura 2). El promedio de granos por vaina entre las tres variedades fue 5.67, este resultado fue superior (10%) a lo encontrado por Negrin *et al.* (2013) quienes obtuvieron un promedio de granos 5.08 entre las variedades estudiadas, eso se debe al comportamiento del carácter individual de los genotipos (Sirpa, 2018). La variedad Pinto americano presentó mayor número de granos por vaina (5.81) del presente estudio, este resultado fue superior a 5.67 que fue lo reportado por Rodríguez *et al.* (2015) quienes también indicaron que las condiciones ambientales no influyen en gran proporción sobre el número de semillas por vaina.

Numero de granos por planta



De acuerdo con el ANOVA a la que fue sometida esta variable número de semillas por planta de los tres factores del trabajo, se encontró significancia entre las variedades. La comparación de medias mostró que hubo diferencias significativas entre el genotipo Flor de mayo y las dos variedades, por lo tanto, no se encontró diferencias significativas entre Pinto Saltillo y Pinto americano (Figura 2). Se observó un menor número de granos/planta en Pinto americano, lo que se debe a su hábito de crecimiento y a su susceptibilidad a la pudrición carbonosa (*Macrophomina phaseolina*). Pero, Flor de mayo fue la variedad que presentó mayor número de granos por planta (53.40). Este valor fue superior a los encontrados por Romero-Félix *et al.* (2018), bajo condiciones de sequía que evaluaron 12 genotipos de frijol, sin embargo, los mismos genotipos evaluados bajo condiciones de riego superan los valores obtenidos en el presente estudio para seis genotipos de los doce genotipos evaluados.

El ANOVA también mostró diferencias altamente significativas entre la densidad poblacional. Se encontró mayor número de semillas (52.32) por planta cuando la densidad es baja (125,000 pl ha⁻¹) y 40.17 semillas por planta en la densidad alta (250,000 pl ha⁻¹), lo anterior es debido a que al tenerse un mayor espacio por la planta por desarrollar, mayor posibilidad de tener mayor número de ramas con vainas, menor competencia entre ellas (Calero *et al.*, 2018).

Longitud de guía

Los resultados del análisis de varianza mostraron diferencias altamente significativas entre los genotipos. Donde a través de la DMS, se observó que la variedad flor de mayo fue la más alta y Pinto americano fue la más corta (Figura 2). Esta diferencia de expresión se debe a

las características genotípicas varietales y también de su hábitat de crecimiento. Sobre este, Olivera *et al.* (2016) reportaron que la competencia entre las plantas influye sobre sus alturas y también es característica genética del genotipo en interacción con el medio en que se desarrolla el cultivo.

Rendimiento de grano ton ha⁻¹

El ANOVA para la variable rendimiento de grano por hectárea demostró que hubo diferencias significativas entre el factor genotipos (Figura 2) y mostro diferencias altamente significativas para el factor densidad de poblacional.

Rodríguez *et al.* (2015) afirmaron en su investigación que la línea más precoz en día a floración fue la que más rendidora, un factor que le permitió evitar muchos riesgos del clima que afectarían la floración, la madurez y la productividad del cultivo. Sin embargo, en el presente estudio, la variedad Flor de mayo mostró mayor rendimiento promedio de las tres variedades estudiadas, probablemente por su hábito de crecimiento indeterminado con mayor número de ramas y también por no ser afectado por la pudrición carbonosa. Acosta-Gallegos *et al.* (2010) quienes analizaron el rendimiento promedio de 16 variantes genéticas de la variedad de frijol Flor de mayo, donde obtuvieron el mayor rendimiento (4.15 ton ha⁻¹) en el genotipo Celaya (4) R. Sin embargo, el resultado obtenido de flor de mayo en el presente estudio de fue 3.29 ton. ha⁻¹ inferior solamente al Celaya (4) R. Esto se debe probablemente al estrés hídrico, la salinidad del suelo, la baja y alta temperatura, lo que causó la quema de las hojas y también la muerte de las plantas por el frío durante el transcurso del experimento. Todo esto, influye en los componentes de rendimiento del cultivo. Pues, según Torres *et al.* (2013) el exceso de temperatura daña la floración del



cultivo, también influye en la esterilidad y las heladas ocasionan la muerte de las plantas. Sin embargo, Osuna-Ceja *et al.* (2013) quienes evaluaron estos genotipos bajo condición temporal y temporal más riego suplementario, encontraron rendimientos inferiores a lo encontrado en el presente estudio.

La densidad poblacional tuvo un efecto muy importante, la densidad alta tuvo mayor rendimiento ($0.05m=3.41 \text{ ton ha}^{-1}$) que la densidad baja ($0.1m=2.26 \text{ ton ha}^{-1}$), resultado que coincidió a lo encontrado por Rodríguez *et al.* (2017), quienes también afirmaron que eso se debe a mayor número de plantas por ha. Sobre este factor, Osuna-Ceja *et al.* (2012) indicaron que al modificar la densidad poblacional en el cultivo de frijol es para manejar favorablemente su rendimiento, es decir alta densidad, mayor número de plantas, lo que incrementa la productividad.

Peso de 100 semillas

Se realizó el ANOVA y se encontró significancia estadística. Los resultados de la comparación de medias usando la DMS para la variable peso de 100 semillas mostraron diferencias significativas entre los niveles de inoculantes, donde se observó en esta investigación que el frijol no inoculado presentó el mayor peso promedio 38.85 g, mientras el frijol inoculado con 36.79 g. Pero, se debe notar que se observaron nódulos en el frijol que fue inoculado, lo que significa que existen bacterias de *Rhizobium* de las cepas introducidas.

Sobre esto, Armenta-Bojorquez *et al.* (2010) afirmaron que las cepas nativas presentan mayores efectividades por estar adaptadas a las condiciones edafoclimáticas de la zona. Por otro lado, este resultado no coincidió a los de Hurtado *et al.* (2019) quienes en su investigación, encontraron que el frijol inoculado con *Rhizobium phaseoli*

presentaron mayores valores de peso; y no coincidieron tampoco a los encontrados por Hurtado *et al.* (2017), quienes afirmaron que el uso de bioproductos en ciclo tardío en cultivo de frijol aumenta los indicadores de rendimiento como peso de 100 granos, número de vainas por planta, número de semillas por vaina y la altura promedio de las plantas.

También hubo significancia entre los genotipos donde la variedad Pinto americano presentó mayor peso promedio, eso se debe a mayor tamaño de semilla que tiene el genotipo Pinto americano en comparación a los otros dos genotipos. Mientras que no hubo diferencias significativas entre Flor de mayo y Pinto saltillo (Figura 2). Esta diferencia se debe probablemente a una falta de humedad durante el transcurso del experimento. Sobre esa variable, Romero-Félix *et al.* (2018) quienes subrayaron que el estrés hídrico reduce el peso de grano del cultivo; Por otro lado, Sirpa (2018) asumió que, en el cultivo de frijol, la genética de la variedad es la que más afecta el peso de 100 granos. Sin embargo, la precocidad de una variedad le puede permitir poder completar su ciclo biológico antes de ser afectada por la sequía o helada o cualquier eventual riesgo que influye en su peso de grano (Bayoumi *et al.*, 2008).

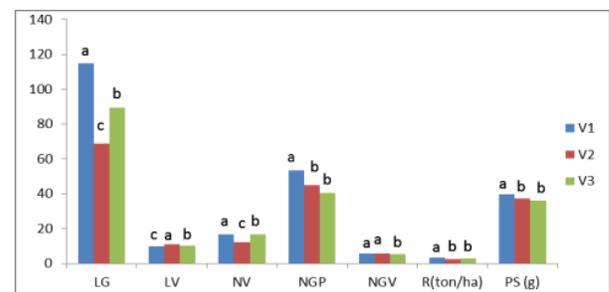


Figura 2. Comparación de medias de las variables: longitud de guía (LG), longitud de vaina (LV), número de vainas/planta (NVP), número de granos por planta (NGP), número de granos por vaina (NGV), Rendimiento de grano por ha en toneladas ($R(t/ha)$) y peso de 100 semillas por tratamiento (PS).



Diámetro de nódulos

El análisis de varianza indica que hubo diferencias significativas solo entre los niveles de inoculante, donde a través de la DMS, se observó que los nódulos de frijol inoculados fueron más grandes con un tamaño promedio de 2.75 mm de tamaños medianos y los no inoculados fueron pequeños de tamaños 1.02 mm según la escala reportada por Cantaro-Segura, (2015), También este resultado fue similar a lo reportado por Chipana *et al.* (2017) quienes encontraron nódulos en los tratamientos no inoculados, pero con menor concentración.

Numero de nódulos por planta

Los resultados del análisis de varianza mostraron diferencias significativas entre los niveles de inoculante. Se encontraron nódulos en frijol de semillas que no fueron inoculadas, lo que indica que hay presencia de Rhizobios nativos simbiotes en las parcelas donde se realizó este experimento. Pero el frijol inoculado presentó mayor promedio de nódulos (26.58) mientras que el frijol sin inocular obtuvo 16.92 nódulos. Esa observación es similar a la de Chipana *et al.* (2017) y Nápoles *et al.* (2016) quienes encontraron sin embargo mayor número de nódulos por planta en sus investigaciones comparado a lo obtenido en el presente estudio. Pues, fue poco el número de nódulos por planta en comparación a varios estudios, esto se debe a la deficiencia de fierro en el suelo (Brear *et al.*, 2013), también a la salinidad del suelo (Hafeez *et al.*, 1988).

Conclusiones

Con las cepas introducidas, se encontró mayor número de nódulos. Pero, Donde se

realizó el experimento, existen cepas nativas, las cuales tuvieron efectos positivos sobre el peso de granos.

De la investigación, Flor de mayo fue la variedad de mayor rendimiento, menos afectado por el clima, seguido por Pinto saltillo. En ambos, no se anotó la presencia de la pudrición carbonosa (*Macrophomina phaseolina (Tassi) Goid.*) Para la variable rendimiento de grano por hectárea, Los resultados mostraron que, a alta densidad poblacional, se obtuvo mayor rendimiento por contener mayor número de plantas. Para la variable rendimiento de grano por planta, en la densidad baja, se obtuvo un mayor rendimiento por planta, esto es porque se presentó menor efecto de competencia intrapoblacional.

Agradecimientos

A Dios primero por sus bendiciones y sus bondades en mi vida.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el recurso otorgado para el desarrollo de mis actividades académicas.

A la facultad de agronomía (UANL) por su apoyo para el desarrollo de este proyecto.

Referencias Bibliográficas

- Acosta-Gallegos, C. F., Vázquez, V. M. G., González, C. N. A., Herrera, R. R. (2014). Biofertilizantes microbianos. 1era edición. Pp. 1-431
- Acosta-Gallegos, A. J., Sánchez, G. B. M., Mendoza, H. F. M., Jiménez, H. Y., Salinas, P. R., Rosales, S. R., Navarrete, M. R., Zandate, H. R., Alvarado, M. S., & Padilla, R. J. S. (2010). Rendimiento y reacción a enfermedades en frijol tipo Flor de Mayo en riego y temporal. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 1(1), 65-75. Recuperado en 14 de marzo de 2020, de



http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342010000100007&lng=es&tlng=pt.

- Armenta-Bojorquez, D. A., Garcia-Gutierrez, C., Camacho-Baez, R., Apodaca-Sanchez, A M., Gerardo-Montoya, L. y Nava-Perez, E. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de Mexico. *Ra Ximhai* Vol. 6. Numero 1, pp. 51-56.
- Bayoumi, T. Y., Eid, M. H and Metwali, E. M. (2008). Application of physiological and biochemical indices as a screening technique for drought tolerance in wheat genotypes. *Afri. J. Biotech.*, 7: 2341-2352
- Brear E. M., Day, D. A., Smith, P. M. (2013). Iron: an essential micronutrient for the legume-rhizobium symbiosis. *Frontiers in Plant Science*, P. 4. doi: 10.3389/fpls.2013.00359
- Calero, A., Castillo, Y., Quintero, E., Perez, Y. y Olivera, D. (2018). Efecto de cuatro densidades de siembra en el rendimiento agrícola del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista de la Facultad de Ciencias, Rev. Fac. Cienc. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín V 7 N_1 enero-junio de 2018 _ ISSN-e 2357-5749 _ Artículo Investigación _ Páginas 88 a 100 DOI: <https://doi.org/10.15446/rev.fac.cien.c.v7n1.67773>*
- Cántaro-Segura, B. H. (2015). Efectividad simbiótica de dos cepas de *Rhizobium* sp. en cuatro variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones de Costa Central. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Peru. Pp.1-153
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2170/P34-C355-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chipana, V., Clavijo, C., Medina, P. y Castillo, D. (2017). Inoculante de vainita (*Phaseolus vulgaris* L.) con diferentes concentraciones de *Rhizobium etli* y su influencia sobre el rendimiento del cultivo. *Ecol. apl.* Vol. 16 No 2, pp. 91-98: ISSN 1993-9507 DOI: <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v16i2.1012>
- Cedano, J., De la Rosa, D., Sánchez, A. y Oviedo, F. (2000). Fraccionamiento de nitrógeno en frijol (*Phaseolus vulgaris*) en el Valle de San Juan. *Agronomía mesoamericana* 11(1): 151-154
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2019. Organismo de Cuenca Río Bravo Dirección Técnica. Dato climáticos de Marín N. L.
- Dabessa, A., Abebe, Z. y Bekele, S. (2018). Limitations and strategies to enhance biological nitrogen fixation in sub-humid tropics of Western Ethiopia. *Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development*. Vol. 10(7), pp. 122-131. DOI: 10.5897/JABSD2018.0318 Article Number: 31963CE57426 ISSN: 2141-2340
- Dieudonné, C. M. M et Ismaël, M. K. (2017). Étude d'adaptation de cinq variétés d'haricots (*Phaseolus vulgaris* L.) biofortifiées sous traitement des régulateurs de croissances. *International journal of innovation and applies studies*. ISSN2028-9324 Vol.21 No. 2 sep.2017, pp 267-276. file:///C:/Users/User/Downloads/IJIA S-17-052-20.pdf
- Estévez de Jensen, C. R. Meronuck, R., Percich, J. A. (2000). Efficacy of *Bacillus subtilis* and two *Rhizobium* strain for the management of bean



- root in Minesota. Ann. Rep. Bean Improv. Coop., 33: 33-34.
- Fernández-Pascual, M., Nuria de Maria, Maria de Felipe. (2002). Fijación biológica de nitrógeno: factores limitantes. Ciencia y Medio Ambiente - CCMA-CSIC - 2002. [http://digital.csic.es/bitstream/10261/128283/1/Fijaci%C3%B3n%20Biol%C3%B3gica391\(MC%20F%20Pascual\).pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/128283/1/Fijaci%C3%B3n%20Biol%C3%B3gica391(MC%20F%20Pascual).pdf)
- García, S. C. (2011). Bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno. Universidad de Salamanca. CT 3, 173- 186
- Guzmán-Soria, E., De la Garza C, M. T. , García, S. J. A., Rebollar, R. S. y Hernández, M. J. (2019). Análisis económico del mercado de frijol grano en México. Agron. Mesoam. 30(1):131-146. ISSN 2215-3608, doi:10.15517/am.v30i1.33760: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/view/33760/36153>
- Hafeez, Y. F, Zahoor, A., Kauser, A. M. (1988). Effect of salinity and inoculation on growth, nitrogen fixation and nutrient uptake of *Vigna radiata* (L.) Wilczek. Plant and soil: Volume 106, Issue 1, pp 3–8
- Hernández S. L. y Salido, G. Y. (2019): "Influencia de la aplicación de Azofert inoculante a base *Rhizobium* en el cultivo del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) VAR. Delicias 364 en finca Juan Sáez. Manatí", Revista Caribeña de Ciencias Sociales. En línea: <https://www.eumed.net/rev/caribe/2019/01/cultivo-frijol-comun.html//hdl.handle.net/20.500.11763/caribe1901cultivo-frijol-comun>
- Hurtado, C. A., Díaz, P. Y., Rodríguez, Q. Y., Viciado, O. D. y Calzada, P. K. (2019). Efecto de la aplicación asociada entre *Rhizobium leguminosarum* y microorganismos eficientes sobre la producción del frijol común. Cienc Tecnol Agropecuaria Mosquera (Colombia), 20(2):295-308
- Hurtado, C. A., Rodríguez, Q. E. y Díaz, P. Y. (2017). Utilización de diferentes bioproductos en la producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Agrotecnia de Cuba, 41 (1): 17- 24
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED), (2009). Enciclopedia de los Municipios de México: Estado de Nuevo León: Marín. Recuperado de: <http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM19nuevoleon/municipios/19034a.html>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), (2017). Anuario Estadístico y Geográfico de Nuevo León. Recuperado de: http://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF_Docs/NL_ANUARIO_PDF.pdf
- INIFAP, (2004). Tecnología de producción para frijol de riego en el norte y centro de Coahuila. Centro de Investigación Regional del Norte Campo Experimental Zaragoza. <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/2708/232.pdf?sequence=1> 14 de abril de 2020
- Martínez, T. J. y Lopez, I. (2000). *Rhizobium* y su destacada simbiosis con plantas. 198 p.
- Moreno, J. V., Rodolfo, F. R. y Sánchez-Yáñez, J. M. (2005). Inoculación de leguminosas con *Rhizobium*: minirevisión. Recuperado el 13 de marzo de 2020: https://www.researchgate.net/profile/Juan_Sanchez-Yanez/publication/321265001_Inoculacion_de_leguminosas_con_Rhizobium_minirevision/links/5a178ae80f7e9be37f958fbd/Inoculacion-de-leguminosas-con-Rhizobium-minirevision.pdf



- Milán-Carrillo, J. Gutiérrez-Dorado, R., Cuevas-Rodríguez, O. E., Sánchez-Magaña, M. L., Rochín-Medina, J. J. y Reyes-Moreno, C. (2017). Bebida funcional con potencial antidiabético y antihipertensivo elaborada con maíz azul y frijol negro bioprocesados. *Revista Fitotecnia Mexicana* 40(4): ISSN: 0187-7380
- Nápoles, G. M. C., Cabre, P. J. C., Onderwater, R., Wattiez, R., Forte, I. H., González, L. M. y Vázquez, M. N. (2016). Signals produced by *Rhizobium leguminosarum* in the interaction with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Cultivos Tropicales*, vol. 37, no. 2, pp. 37-44 DOI: 10.13140/RG.2.1.4466.8405 <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.4466.8405>
- Negrin, B. A., Pardo, H. A. y Mazorra, C. C. (2013). Estudio comparativo de variedades de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) en suelos del municipio Morón. *Centro Agrícola*, 40(4): 79-85. ISSN: 2072-2001
- Olivares, S. E. (2019). Versión 1.8. Paquete Computacional de Análisis Estadísticos, FAUANL.
- Olivera, V. A., Morales, G. A., Batista, S. F., Alfonso, I. A., Rodríguez, M. J y Montero, M. E. M. (2016). Comportamiento agroproductivo de diferentes variedades de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) en la finca "Las Maria" del municipio Primero de Enero. Vol. 5, No. 2, ISSN: 2227-2690 RNPS: 2450
- Osuna-Ceja, E. S., Reyes, L., Padilla, J. S., Rosales, R., Martínez, M. A., Acosta, J. A. y Figueroa, B. (2013). Rendimiento de genotipos de frijol con diferentes métodos de siembra y riego-sequía en Aguascalientes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(8), 1209-1221. ISSN: 2007-0934.
- Osuna-Ceja, S. E., Reyes-Muro, L., Padilla-Ramírez, S. J. y Martínez-Gamiño, A. M. (2012). Rendimiento de frijol Pinto Saltillo en altas densidades de población bajo temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Vol.3 Núm.7 p. 1389-1400
- Rodríguez, A.; Rodríguez, J.; Díaz, L. & Delgado, D. (2017). Efecto de la distancia de siembra en variables morfoagronómicas de moringa (*Moringa oleifera*). *Agronomía Mesoamericana*, 28(1): 207-211. ISSN: 1021-7444.
- Rodríguez, R. J. R., Tosquy, V. O. H. y López, S. E. (2015). Genotipos de frijol negro y su tolerancia a sequía terminal en Veracruz, Mexico. *Ciencias de la Biología y Agronomía. ECORFAN: volumen 1. Pp 161-170. Recuperado el 15 de marzo 2020 en: http://www.ecorfan.org/handbooks/Ciencias-BIO-T_I/Handbook_Biologia_y_Agronomi_a_T1_V1.pdf#page=170*
- Romero-Félix, C. S., López-Castañeda, C., Kohashi-Shibata, J., Martínez-Rueda, C. G., Miranda-Colín, S., y Aguilar-Rincón, V. H. (2018). Ambiente y genotipo: Efectos en el rendimiento y sus componentes, y fenología en frijol común. *Acta universitaria*, 28(6), 20-32. <https://dx.doi.org/10.15174/au.2018.1760>
- Rosales, R. S., Ramírez, P. V., Acosta, J. A., Castillo, F. G. y Kelly, D. J. (2000). Rendimiento de grano y tolerancia a la sequía del frijol común en condiciones de campo. *Agrociencia* 34:153-165
- Saavedra, D. A. C., Martínez, H. F. C., Nicolás, J. R., Feliberto F. G. C., Ramiro R. G. F., Ángel V. C. M. (2017). Rizobacterias que promueven el desarrollo e incremento en productividad de



Glycinemax L. Ciencias Agrarias.
CiencTecn UTEQ (2017) 10(1) p 7-
15 ISSN 1390-4051; e-ISSN 1390-
4043

- Sirpa, A. R. (2018). Comportamiento de cuatro variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) sometidos a dos densidades de siembra en la Estación Experimental Sapecho – Alto Beni. *Apthapi* 4(1): 978 – 992. ISSN: 2519-9382.
- Spaink, H. P. (2000). Root nodulation and infection factors produced by rhizobial bacteria. *Annu. Rev. Microbiol.* 54:257–288.
- Torres N. E., Quisphe, C. D., Sánchez L. A., Reyes, B. M., González, O. B., Torres, N. A., Cedeño, B. A., Haro, C. A. (2013). Caracterización de la producción de frijol en la provincia de Cotopaxi Ecuador caso comuna Panyatug. ISSN 1390-4043. En *Ciencia y Tecnología* 6(1): 23-31
- Zahran, H. H. (1999). Rhizobium-Legume Symbiosis and Nitrogen Fixation under Severe Conditions and in an Arid Climate. *Microbial Mol Biol Rev.* 1999 Dec; 63(4): 968–989.
- Zaldivar, J.; Aguilar, A. T.; Santiesteban, A. B. & Álvarez, G. (2017). Evaluación agroproductiva de cultivares de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en la CCS Reytel Jorge del municipio Jesús Menéndez. *Ojeando la Agenda*, 45, 36-53. ISSN: 1989-6794.



SEMESTRE IV

Evaluación fenotípica, fisiológica y de compuestos bioactivos en maíces nativos ante estrés por temperatura y sequía

Cesar de Jesús Ayala-Meza¹; Francisco Zavala-García¹; Adriana Gutierrez-Diez¹; Guillermo Niño-Medina¹, Sugey Ramona Sinagawa-García¹.

¹ Posgrado de la Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León, C. P. 66050, Gral. Escobedo, Nuevo León. Email: cayalam95@gmail.com

Resumen

El maíz nativo es de gran importancia para México, ya que es un recurso genético con grandes aplicaciones en la agricultura moderna, por lo que estudiarlos ante los posibles escenarios de estrés abiótico es una actividad sumamente necesaria para resolver los problemas del mañana. En este experimento se analizó las afecciones causadas por estrés de humedad y de temperatura a cuatro poblaciones de maíz nativo realizando caracterizaciones fenotípicas, fisiológicas y de compuestos bioactivos. Se observó como el estrés de humedad fue el que presentó diferencias significativas en casi todas las variables medidas, aunque se presentaron casos con doble y hasta triple interacción, como lo fue en los compuestos fenólicos totales y la capacidad inhibitoria de radicales. El uso de diferentes métodos analíticos en conjunto puede ser de gran apoyo para identificar comportamientos de interés, mediante los cuales se pueden tomar decisiones.

Palabras clave: Maíz, estrés abiótico, cámara de solarización controlada, compuestos bioactivos, intercambio de gases.

Abstract

Native maize is of great importance for Mexico due to its genetic pool, which has a diverse set of applications in modern agriculture, reason why these maizes should be studied in different stress scenarios in order to solve the problems of tomorrow. In this experiment the abiotic stress affections were analyzed through humidity and temperature using a controlled solarization chamber and four native maizes foreigner to Nuevo León, doing phenotypic, physiologic and biochemical characterizations. It was observed how the humidity stress presented significative differences in almost all the measured variables, although there were cases of double and even triple interaction, as seen for total phenolic compounds and radical inhibitory capacity. The use of different analytic methods as a synergy can help identifying patterns of interest which can be fundamental for decision taking.

Keywords: Maize, abiotic stress, controlled solarization camera, bioactive compounds, gas exchange

Introducción

El maíz (*Zea mays L.*) es una especie base en la alimentación y cultura de México (González-Cortés *et al.*, 2016) con fases fenológicas divididas en vegetativas y reproductivas, las cuales cuentan con diferentes características que influyen de diferentes maneras al desarrollo del cultivo

(Quiroz & Merchan, 2016). El cambio climático ha comenzado a generar comportamientos erráticos en los factores abióticos del planeta, los cuales pueden afectar a las plantas aumentando las especies reactivas de oxígeno (ROS) (Rabêlo *et al.*, 2019); la planta puede responder de diferentes maneras para contrarrestar estos efectos con la



producción de compuestos fenólicos, los cuales pueden ser una herramienta clave en la supervivencia de las plantas ante este tipo de estrés (Kumar & Goel, 2019; Santhi *et al.*, 2019; Sytykiewicz, *et al.*, 2017; Tajik, *et al.*, 2019).

La fisiología vegetal es de gran importancia, en la respuesta por la supervivencia de las plantas, por lo que a lo largo de los años se han desarrollado tecnologías no destructivas para determinar variables como fotosíntesis, CO₂ intracelular, fluorescencia, entre otras (Füzy *et al.*, 2019). Una de estas tecnologías es el uso del sistema portátil de fotosíntesis Li-6400 XT, (Li-Cor, Lincoln, Nebraska, EE. UU.) el cual estima el comportamiento fotosintético mediante el intercambio gaseoso, principalmente CO₂. Este equipo se ha utilizado en análisis de adaptación de las plantas a diferentes condiciones climáticas (Savvides & Fotopoulos, 2018). Con base a lo mencionado, esta investigación pretende identificar la posible relación entre los compuestos fenólicos bioactivos con las variables fisiológicas ante estrés de altas temperaturas y sequía en poblaciones nativas de maíz.

Materiales y Métodos

Siembra experimental

Se llevó a cabo una siembra en macetas el día 23 de agosto de 2019, con los materiales Rojo Olinalá (RO), Rojo Mochitlán (RM), Reventador Café (RC), Amarillo Nanche Dulce (AND) y un testigo Asgrow 7573 (As). Se sembraron en macetas de 25 cm de diámetro y 55 cm de altura, utilizando un diseño completamente al azar con arreglo en parcelas subdivididas con los tratamientos de temperatura ambiente (TA) y temperatura inducida (TI) para parcela grande, los tratamientos riego (R) y sequía (S) como parcela mediana y los genotipos

como parcela chica, generándose en total 20 tratamientos. Se utilizaron dos macetas como unidad experimental.

Inducción de estrés

La inducción de estrés por sequía se produjo mediante la omisión de riego a partir de los 40 días posteriores a la siembra durante 10 días, y se utilizó una película de plástico en la parte superior de la maceta para disminuir la pérdida por evaporación del agua contenida en el suelo, así como evitar la entrada de agua exterior por algún factor natural. Para inducir el estrés por temperatura se utilizó una cámara de solarización controlada la cual consistió en una estructura clavada en el suelo con medidas de 10 m x 3 m x 2.5 m cubierta con plástico de invernadero de 180 micras, aplicándose el tratamiento de 10 de la mañana a 2 de la tarde durante 7 días para posteriormente agregar un tratamiento 15 días después; iniciando el día 47 después de la siembra cuando el tratamiento control se encontraba en etapa V14. Se registraron las temperaturas máximas alcanzadas durante el período de la aplicación del tratamiento.

Medición de datos fenotípicos y fisiológicos

Los datos fenotípicos que se consideraron fueron: Días a floración masculina y femenina (DFM, DFF), altura de planta (Alt), altura de mazorca (AltMaz) y peso de mazorca (PM).

Se determinó el daño a los fotosistemas (Fv/Fm) mediante una cámara de fluorescencia de hoja (Fluorómetro 6400-40; Li-Cor, Lincoln, Nebraska EE. UU.), así como una cámara de luz LED (6400-02, Li-Cor, Lincoln, Nebraska, EE. UU.) para estimar las mediciones de tasa fotosintética (Photo), conductancia estomática (Cond), concentración de CO₂



intercelular (Ci) y transpiración (TMmol); Ambas cámaras se utilizaron acopladas a un sistema portátil de fotosíntesis Li-6400 XT (Li-Cor, Lincoln, Nebraska, EE. UU.).

Determinaciones de compuestos bioactivos.

La determinación de compuestos bioactivos se realizó mediante una toma de muestras de la sexta hoja de las plantas de la unidad experimental en etapa preanthesis, aproximadamente 52 dds. Las muestras se colocaron en bolsas de aluminio y posteriormente se liofilizaron (Labconco Freezone™ Freeze-Dry Systems; Kansas City, MO, EE. UU.) para después ser molidas. Para la extracción de compuestos fenólicos, se basó en lo reportado por Vazquez-Olivo (2019), con ligeras modificaciones; consistió en pesar una muestra de 0.25 g de materia seca, a la cual se le agregaron 5 mL de metanol al 80% en un tubo de ensaye, manteniéndolo en agitación a 300 RPM usando un agitador magnético en cada tubo, durante dos horas. Posteriormente, la muestra se centrifugo a 5000 RPM a una temperatura de 4 °C, durante 15 minutos (centrifuga Labnet Hermle Z400K; New Jersey, EE. UU.); la muestra se pasó a un tubo Falcon limpio, previamente etiquetado.

Se llevaron a cabo las pruebas de Folin-Ciocalteu (PFC), método de DPPH• y el método de ABTS•+ para la capacidad inhibitoria de radicales (CIdR) basándose en la metodología propuesta por Hernández *et al.* (2018) con ligeras modificaciones.

Análisis estadísticos

Se realizaron análisis utilizando el modelo correspondiente a parcelas subdivididas, tomando como parcela grande los tratamientos de temperatura, la parcela mediana como los tratamientos relacionados a la humedad del suelo, y la

parcela chica como los genotipos. Estos análisis estadísticos se llevaron a cabo utilizando el software InfoStat Versión 2017 (Córdoba, Argentina, 2019).

Resultados y Discusión

Evaluación fenotípica

Los análisis para las características fenotípicas mostraron diferencias significativas en la interacción Temperatura x Humedad para Alt y AltMaz, mientras que para los factores Genotipo y Humedad del suelo se mostraron diferencias significativas en todas las variables analizadas.

En el Cuadro 1 se observa como La interacción Temperatura x Humedad, mostro como la Alt y AltMaz no tuvieron diferencias entre genotipos en su respuesta a los factores de estrés, pero si su comportamiento al compararlo entre condiciones de humedad bajo cada condición de temperatura. Principalmente para la variable Alt se observa como disminuye su expresión conforme el grado de estrés se incrementa; siendo similar a lo reportado por Hussain *et al.* (2019), quienes confirmaron los efectos negativos del estrés sobre el comportamiento fenotípico de la planta afectando su crecimiento; asimismo se observa como la altura de la mazorca, bajo estrés de TI y S presenta valores de 109.85 cm y 45.03 cm, respectivamente, mientras que en la condición control presenta 178.77 cm y 72.63 cm de Alt y AltMaz, respectivamente.

Cuadro 1. Comparación de medias para las variables de Alt y AltMaz.

Interacción	Alt	AltMaz
TI S	109.85a	45.03a
TA S	117.21a	46.92ab
TI R	146.04b	57.54b
TA R	178.77c	72.63c



Letras diferentes indican diferencia significativa.

Para el caso de rendimiento, se utilizó el peso de mazorca, debido a que las condiciones de aislamiento en las que se desarrolló el experimento impidieron una adecuada polinización y consecuentemente, formación de grano. En relación al peso de la mazorca se vio disminuido ante el estrés de sequía, observándose una disminución de 68%, similar a lo mencionado por Chaves-Barrantes (2016), quien mostró una disminución aproximada del 70% en los valores de rendimiento, causado por una afección a la fecundación y principalmente en la deshidratación de estigmas y polen. El estrés abiótico jugó un papel importante, como lo menciona Villalobos-González *et al.* (2017) quienes mencionaron que el maíz bajo estrés por sequía presentó un aumento en los días a floración, tanto masculina como femenina y consecuentemente una mayor asincronía floral (Figura 1), similar a lo mencionado por Edmeades (1993).

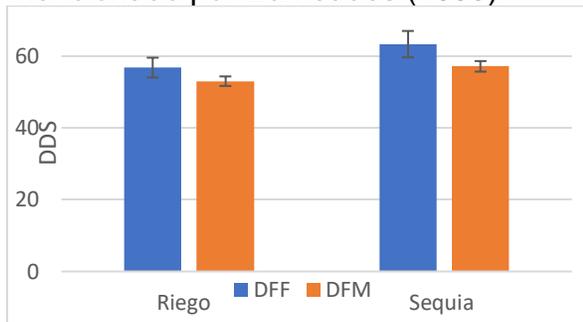


Figura 1. Días a floración masculina (DFM) y femenina (DFF) bajo dos condiciones de humedad.

Evaluación fisiológica

El análisis de varianza mostro diferencias significativas en la interacción Temperatura x Genotipo para la variable Photo, mientras que el factor Humedad genero diferencias significativas en todas las variables, aunque el factor temperatura

fue significativa solamente para TMmol, Cond y Ci.

La interacción Temperatura x Genotipo mostro que la Photo tuvo diferencias significativas, y al realizar una comparación de medias se muestra como el genotipo As presenta un valor de 15.44 $\mu\text{Mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ siendo superior estadísticamente, aunque bajo sequia se presentó como el de menor tasa fotosintética. Estos resultados bajo riego fueron similares a las obtenidas por Xu (2020), aunque hubo genotipos que presentaron menores valores que los reportados por Wang (2018) y Leakey *et al.* (2006).

Para el caso de Ci, se presentó una diferencia significativa en la interacción Temperatura x Humedad, donde se observó un incremento en sus valores con la alta temperatura y sequía (Cuadro 2), debido al aumento de respiración. Resultados similares fueron presentados por Hussain *et al.* 2019).

Cuadro 2. Medias para la variable Ci

Interacción	\bar{x} Ci ($\mu\text{Mol CO}_2\cdot\text{Mol}^{-1}$)
TA R	310.03a
TA S	467.93b
TI R	327.33a
TI S	533.08c

Letras diferentes indican diferencia significativa.

El factor humedad presento diferencias significativas en las variables previamente mencionadas, entre ellas el TMmol, la cual presento una disminución de transpiración de 8.59 a 4.69 $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ bajo estres, así que la Cond y Fv/Fm disminuyeron sus coeficientes, como se observa en la Figura 2a, esto debido a que se considera que la Cond es un mecanismo de escape al estrés abiótico (Lamaoui *et al.*, 2018) presentando una disminución entre las condiciones de humedad, reduciendo la expresión de esta característica para reducir la pérdida de agua (Prasad *et al.*, 2008). De igual manera, se presenta una



disminución en la funcionalidad de los fotosistemas, basados en una reducción de 0.76 a 0.62 del índice de Fv/Fm, siendo un comportamiento similar al presentado por Efeoğlu (2009; Figura 2b).

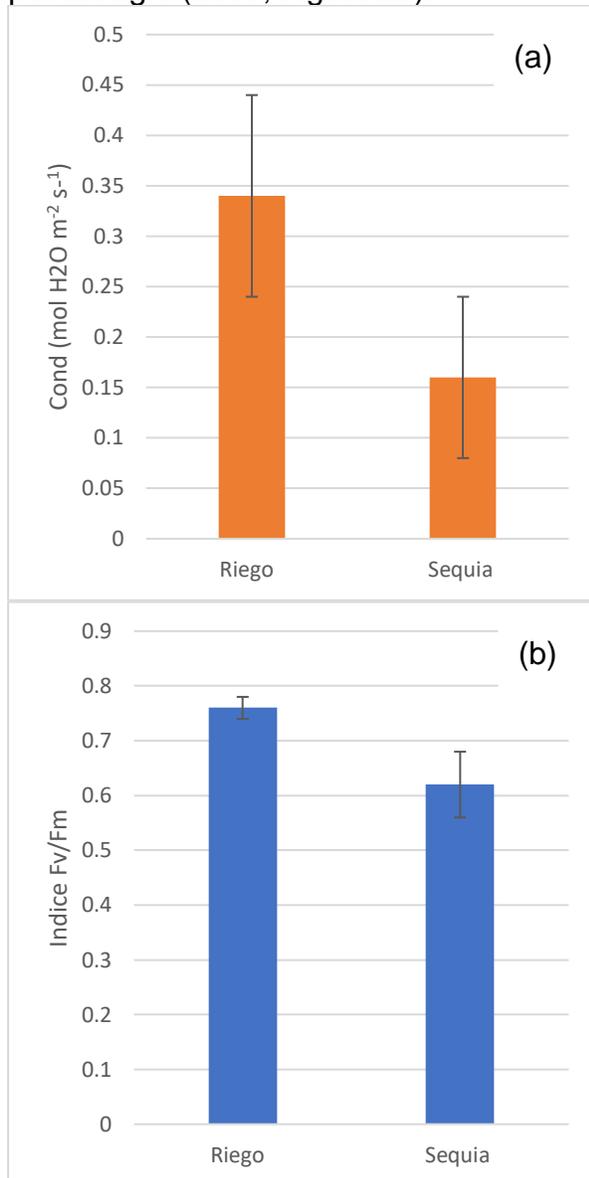


Figura 2. Comparación de medias de conductancia estomatal (Cond) (a) y daño a fotosistemas (Fv/Fm) (b) en riego y sequía.

Evaluación de compuestos bioactivos

En las evaluaciones de compuestos bioactivos se observaron diferencias significativas para las pruebas de Folin-

Ciocalteu y DPPH• bajo la triple interacción de Genotipo x Temperatura x Humedad, mientras que la variable ABTS•+ solo presento diferencias significativas en las fuentes de variación Temperatura y Humedad de forma independiente.

Las técnicas para determinar las concentraciones de compuestos fenólicos totales, y capacidad inhibitoria de radicales por el método de DPPH y ABTS presentaron datos de alto valor. Los resultados de la prueba de Folin-Ciocalteu y DPPH presentaron diferencias significativas en la triple interacción (Cuadro 3), donde se observa como el tratamiento de calor afecta de diferentes formas en las concentraciones de ambas pruebas, las cuales vienen correlacionadas de forma positiva, observándose como no existe un patrón estable de la respuesta de cada uno de los genotipos, comparándose con lo mencionado por Toscano *et al.* (2019) quien mencionaron como este tipo de estrés puede afectar aumentando o disminuyendo la concentración de compuestos fenólicos totales basándose en la actividad presentada por la enzima fenilalanina amonio liasa (PAL), la cual es la primer enzima de la vía de los fenilpropanoides (Godoy, 2002), aunque no son comparables con los resultados obtenidos por Ancillotti (2015) debido a que presento valores contrastes.



Cuadro 3. Comparación de medias para la triple interacción en determinación de compuestos bioactivos.

Letras diferentes indican diferencias

Factor	PFC (mg·EAG·100g ⁻¹)	DPPH (mg·EAG·100g ⁻¹)
TI R RO	53.95a	37.42abcd
TA S RO	54.98ab	47.35abcde
TI R AND	60.6abc	52.37bcde
TA S RM	67.29abc	70.34bcdefg
TI S RO	69.81abc	44abcd
TI R RM	70.45abc	43.57abcd
TA S AND	73.17abc	64.28bcdef
TI S AND	75.08abc	107.34g
TI S RM	75.24abc	69.23bcdefg
TI R RC	80.26abcd	66.29bcdefg
TI S As	82.66abcd	65.85bcdefg
TI S RC	84.36abcd	19.35a
TA S As	88.44abcde	29.98ab
TI R As	90.55bcde	74.39cdefg
TA R AND	101.17cdef	28.74ab
TA R As	102.52cdef	47.35abcde
TA R RO	115.42def	86.47efg
TA S RC	115.44def	32.46abc
TA R RM	123.39ef	46.85abcde
TA R RC	133.56f	98.68fg

significativas.

El método de DPPH funciona mediante la donación de un átomo de hidrogeno por parte del compuesto antioxidante (Guija-Poma *et al.* 2015), siendo un caso similar en el método de ABTS⁺ (Becker *et al.*, 2019). El método de Folin-Ciocalteu se basa en la donación de un electrón, reduciendo el radical (Blainski *et al.*, 2013), generando un compuesto antioxidante inerte, como lo es un radical catión en el caso de donación de electrón y un radical fenoxil no reactivo en el caso del mecanismo de donación de átomo de hidrogeno (Leopoldini *et al.*, 2004).

El método de ABTS⁺ mostro como el estrés por calor disminuye la concentración de EqT en el extracto pasando de 156.52 mg·EqT·100g⁻¹ en TA a 125.34 en TI, mientras que en sequía se

observó un aumento con respecto al del riego mostrando valores de 154.61 y 129.34, respectivamente tal como lo muestra Sarker (2018), quien observo que a medida que aumenta el estrés por sequía, la capacidad inhibitoria de radicales por el método de ABTS⁺ se ve aumentada, mientras que el estrés por calor presenta una disminución en la capacidad inhibitoria, aunque se requieren análisis enzimáticos para poder comprender de forma correcta esta actividad (Soengas *et al.*, 2018).

Conclusiones

El estrés por humedad y temperatura puede afectar de formas significativas ($p \leq 0.05$) en variables como concentración de compuestos fenólicos y capacidad inhibitoria de radicales, transpiración, concentración de CO₂ intracelular, tasa fotosintética, y variables fenotípicas. Las poblaciones nativas pueden presentar características de interés en diferentes variables fenotípicas, fisiológicas y de compuestos bioactivos, por lo que son de alta importancia para los programas de mejoramiento genético.

Los compuestos fenólicos y capacidad inhibitoria de radicales presentaron valores bajos en los genotipos con mejor comportamiento de tasa fotosintética, sin embargo, esto no es concluyente ya que se requiere un análisis complementario asociado con la expresión genética de la proteína PAL que ayudaría a determinar la expresión de los compuestos fenólicos en la hoja.

Agradecimientos

Se le agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca de manutención otorgada a lo largo de esta investigación, al Doctor Romeo Rojas y al Doctor Christian Martínez por su apoyo en el área de bioquímica, a la



Doctora Juana Aranda por su contribución con el equipo de liofilización, y especialmente a Javier Sánchez por su apoyo a lo largo del proceso de campo.

Referencias Bibliográficas

- Avramova, V., Abdelgawad, H., Zhang, Z., Fotschki, B., Casadevall, R., Vergauwen, L., ... Beemster, G. T. S. (2015). Drought induces distinct growth response, protection, and recovery mechanisms in the maize leaf growth zone. *Plant Physiology*, 169(2), 1382–1396. <https://doi.org/10.1104/pp.15.00276>
- Becker, M. M., Nunes, G. S., Ribeiro, D. B., Silva, F. E. P. S., Catanante, G., Marty, J.-L. (2019). Determination of the antioxidant capacity of red fruits by miniaturized spectrophotometry assays. *Journal of the Brazilian Chemistry Society*, 30(5), 1108–1114.
- Blainski, A., Lopes, G. C., & De Mello, J. C. P. (2013). Application and analysis of the folin ciocalteu method for the determination of the total phenolic content from *limonium brasiliense* L. *Molecules*, 18(6), 6852–6865. <https://doi.org/10.3390/molecules18066852>
- Chaves-Barrantes, N. F., & Gutiérrez-Soto, M. V. (2016). Respuestas al estrés por calor en los cultivos. II. Tolerancia y tratamiento agronómico. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 255. <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.21904>
- Dusenge, M. E., Duarte, A. G., & Way, D. A. (2019). Plant carbon metabolism and climate change: elevated CO₂ and temperature impacts on photosynthesis, photorespiration and respiration. *New Phytologist*, 221(1), 32–49. <https://doi.org/10.1111/nph.15283>
- Edmeades, G. O. (1993). *Breeding for Drought Tolerance in Tropical Maize*. El Batán, Mexico: CIMMYT.
- Efeoğlu, B., Ekmekçi, Y., & Çiçek, N. (2009). Physiological responses of three maize cultivars to drought stress and recovery. *South African Journal of Botany*, 75(1), 34–42. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2008.06.005>
- Füzy, A., Kovács, R., Cseresnyés, I., Parádi, I., Szili-Kovács, T., Kelemen, B., ... Takács, T. (2019). Selection of plant physiological parameters to detect stress effects in pot experiments using principal component analysis. *Acta Physiologiae Plantarum*, 41(5), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s11738-019-2842-9>
- Ghasemi Pirbalouti, A., Malekpoor, F., Salimi, A., & Golparvar, A. (2017). Exogenous application of chitosan on biochemical and physiological characteristics, phenolic content and antioxidant activity of two species of basil (*Ocimum ciliatum* and *Ocimum basilicum*) under reduced irrigation. *Scientia Horticulturae*, 217, 114–122. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.031>
- González-Cortés, N., Silos-Espino, H., Carlos, J., Cabral, E., Archivaldo, J., & Leonardo, C.-M. (2016). Características y propiedades del maíz (*Zea mays* L.) criollo cultivado en Aguascalientes, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(3), 669–680.
- Guija-Poma, E., Inocente-Camones, M. A., Ponce-Pardo, J., Z.-N. (2015). Evaluación de la técnica 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH) para determinar capacidad antioxidante. *Horizonte Médico (Lima)*, 15(1), 57–60. <https://doi.org/10.24265/horizmed.2015.v15n1.08>



- Hernández, M., Ventura, J., Castro, C., Boone, V., Rojas, R., Ascacio-Valdés, J., & Martínez-Ávila, G. (2018). UPLC-ESI-QTOF-MS2-Based identification and antioxidant activity assessment of phenolic compounds from red corn cob (*zea mays* L.). *Molecules*, 23(6). <https://doi.org/10.3390/molecules23061425>
- Hussain, H. A., Men, S., Hussain, S., Chen, Y., Ali, S., Zhang, S., ... Wang, L. (2019). Interactive effects of drought and heat stresses on morpho-physiological attributes, yield, nutrient uptake and oxidative status in maize hybrids. *Scientific Reports*, 9(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40362-7>
- Kumar, N., & Goel, N. (2019). Phenolic acids: Natural versatile molecules with promising therapeutic applications. *Biotechnology Reports*, 24, e00370. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2019.e00370>
- Lamaoui, M., Jemo, M., Datta, R., & Bekkaoui, F. (2018). Heat and drought stresses in crops and approaches for their mitigation. *Frontiers in Chemistry*, 6(February), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00026>
- Leakey, A. D. B., Uribe Larrea, M., Ainsworth, E. A., Naidu, S. L., Rogers, A., Ort, D. R., & Long, S. P. (2006). Photosynthesis, productivity, and yield of maize are not affected by open-air elevation of CO₂ concentration in the absence of drought. *Plant Physiology*, 140(2), 779–790. <https://doi.org/10.1104/pp.105.0739>
- Leopoldini, M., Marino, T., Russo, N., & Toscano, M. (2004). Antioxidant properties of phenolic compounds: H-atom versus electron transfer mechanism. *Journal of Physical Chemistry A*, 108(22), 4916–4922. <https://doi.org/10.1021/jp037247d>
- Quiroz, D., & Merchan, M. (2016). Guía para facilitar el aprendizaje en el manejo integrado del cultivo de maíz duro. In INIAP (Vol. 1). Retrieved from http://sinagap.agricultura.gob.ec/info/productor/maiz/descargas/buenas_practicas/iniap.pdf
- Rabêlo, V. M., Magalhães, P. C., Bressanin, L. A., Carvalho, D. T., Reis, C. O. dos, Karam, D., ... Souza, T. C. de. (2019). The foliar application of a mixture of semisynthetic chitosan derivatives induces tolerance to water deficit in maize, improving the antioxidant system and increasing photosynthesis and grain yield. *Scientific Reports*, 9(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44649-7>
- Santhi, V. S., Salame, L., Muklada, H., Azaizeh, H., Haj-Zaroubi, M., Awwad, S., ... Glazer, I. (2019). Toxicity of phenolic compounds to entomopathogenic nematodes: A case study with *Heterorhabditis bacteriophora* exposed to lentisk (*Pistacia lentiscus*) extracts and their chemical components. *Journal of Invertebrate Pathology*, 160(October 2018), 43–53. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2018.12.003>
- Sarker, U., & Oba, S. (2018). Drought stress enhances nutritional and bioactive compounds, phenolic acids and antioxidant capacity of *Amaranthus* leafy vegetable. *BMC Plant Biology*, 18(1). <https://doi.org/10.1186/s12870-018-1484-1>



- Savvides, A. M., & Fotopoulos, V. (2018). Two inexpensive and non-destructive techniques to correct for smaller-than-gasket leaf area in gas exchange measurements. *Frontiers in Plant Science*, 9(April), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00548>
- Soengas, P., Rodríguez, V. M., Velasco, P., & Cartea, M. E. (2018). Effect of Temperature Stress on Antioxidant Defenses in *Brassica oleracea*. *ACS Omega*, 3(5), 5237–5243. <https://doi.org/10.1021/acsomega.8b00242>
- Song, L., Jin, J., & He, J. (2019). Effects of severe water stress on maize growth processes in the field. *Sustainability (Switzerland)*, 11(18). <https://doi.org/10.3390/su11185086>
- Sytykiewicz, H., Durak, R., Borowiak-sobkowiak, B., & Chrzanowski, G. (2017). Role of phenolic compounds during antioxidative responses of winter triticale to aphid and beetle attack. *Plant Physiology and Biochemistry*, 118, 529–540. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.07.024>
- Tajik, S., Zarinkamar, F., Mohammad, B., & Nazari, M. (2019). Induction of phenolic and flavonoid compounds in leaves of saffron (*Crocus sativus* L.) by salicylic acid. *Scientia Horticulturae*, 257, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108751>
- Vazquez-Olivo, G., López-Martínez, L. X., Contreras-Angulo, L., & Heredia, J. B. (2019). Antioxidant Capacity of Lignin and Phenolic Compounds from Corn Stover. *Waste and Biomass Valorization*, 10(1), 95–102. <https://doi.org/10.1007/s12649-017-0028-5>
- Villalobos-González, A., López-Castañeda, C., Miranda-Colín, S., Aguilar-Rincón, V. H., & López-Hernández, M. B. (2017). Relaciones hídricas en maíces de Valles Altos de la Mesa Central de México en condiciones de sequía y fertilización nitrogenada. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(7), 1651. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i7.157>
- Wang, B., Li, Z., Ran, Q., Li, P., Peng, Z., & Zhang, J. (2018). ZmNF-YB16 overexpression improves drought resistance and yield by enhancing photosynthesis and the antioxidant capacity of maize plants. *Frontiers in Plant Science*, 9(May), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00709>
- Xu, Q., Ma, X., Lv, T., Bai, M., Wang, Z., & Niu, J. (2020). Effects of water stress on fluorescence parameters and photosynthetic characteristics of drip irrigation in rice. *Water (Switzerland)*, 12(1), 1–19. <https://doi.org/10.3390/w12010289>



Micropropagación de brotes de *Agave montium-sancticaroli* a partir de yemas apicales

Cristian Reyna-Morales¹; Ma. del Carmen, Ojeda-Zacarías ¹; Héctor, Lozoya-Saldaña ²; Emilio, Olivares-Sáenz ¹; José Argelio Santos Haliscak ¹.

¹ Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía, Unidad Escobedo. Francisco I. Madero S/N, Hacienda el Canadá, 66050 Cd. Gral. Escobedo, N. L. Tel. (81) 8329-4000. ² Universidad Autónoma de Chapingo, Instituto de Horticultura, Departamento de Fitotecnia. km 38.5 carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México. C. P. 56230. 1e-mail: cristian.reynams@outlook.com

Resumen: La micropropagación de agaves mezcaleros, como el *Agave montium-sancticaroli* es necesaria debido a distintos factores como la extracción de su hábitat, la baja capacidad de producir hijuelos y el constante crecimiento de tierras agrícolas, lo cual ocasiona una disminución en sus poblaciones silvestres, por esta razón es pertinente realizar la reproducción *in vitro* en la especie. Las variables en la multiplicación de brotes: número y longitud de brotes fueron mayor en los tratamientos con BAP y ANA (T1 a T4), por otro lado, el número de raíces demostró ser mayor en T4, mientras que la longitud de raíces decrementó. La disponibilidad de nutrientes para la planta está relacionada directamente con el desarrollo en las plantas aclimatadas, obteniendo en promedio 6.6 hojas (T8 y T9), 7.52 cm de largo en hojas (T8), y 1.31 cm de ancho en hoja (T9).

Palabras Clave: maguey, organogénesis, cultivo *in vitro*, aclimatación, fertilización.

Abstract: The micropropagation of mezcalero agaves, such as the *Agave montium-sancticaroli*, is necessary due to different factors such as the extraction of their habitat, the low capacity to produce basal shoots and the constant growth of agricultural land, which causes a decrease in their wild populations, hence it is pertinent to carry out *in vitro* reproduction in the species. The number and length of shoots was greater in the treatments with BAP and NAA (T1 to T4), on the other hand, the number of roots proved to be greater in T4, while the length of roots decreased. The availability of nutrients for the plant it is directly related to development in acclimatized plants, obtaining an average of 6.6 leaves (T8 and T9), 7.52 cm in leaf length (T8), and 1.31 cm in leaf width (T9).

Keywords: maguey, organogenesis, *in vitro* culture, acclimatization, fertilization

Introducción

Los agaves o magueyes, son considerados especies de gran importancia en regiones áridas y semiáridas de México, por los abundantes componentes que pueden ofrecer al ecosistema (García-Mendoza, 2007). Especies como los murciélagos y otros animales dependen de los ejemplares

silvestres para alimentarse y subsistir, generando una relación simbiótica entre polinizadores y el maguey (Gentry, 1982). El género *Agave* (*sensu stricto*) es endémico de América. De sus más de 200 especies, 150 se encuentran en México, es decir, aproximadamente un 75%, más otras 36 especies que se encuentran distribuidas desde el sur de los Estados Unidos de



América, hasta Colombia y Venezuela. Incluyendo todas las islas del Caribe, desde Bahamas, Aruba, Curazao, y Trinidad y Tobago (García-Mendoza, 2007). En general, poseen hojas alargadas carnosas dispuestas en espiral, un tallo acaule y tienen una inflorescencia de tipo qurote (Guillot-Ortiz *et al.*, 2009).

En distintas regiones de América, las personas aprovechan el maguey con diversos fines, como: medicinales, obtención de fibras, material de construcción, ornamentales, de soporte de terrenos, combustible y de forraje (Bautista-D. & Arias-A., 2008; Espinosa-Barrera, 2015). El género *Agave* en realidad ha formado parte de la dieta humana por milenios, hallándose rastros en coprolitos de más de 7,000 años de antigüedad (Callen, 1965).

El agave forma parte del 1.25% del PIB agrícola nacional y el 3.04% de la producción de agroindustriales. En el año 2016 la exportación de tequila representó un valor de 1,203 millones de dólares. Con la demanda internacional en aumento, 26 países han incrementado el consumo desde el 2003, estos países en conjunto consumen anualmente 184 millones de litros. En otro contexto, de las 111,420 hectáreas sembradas en 2016, el 89.78% de la superficie está mecanizada, 51.89% se encuentra con tecnología aplicada a la sanidad vegetal, y el 67.78% de la superficie sembrada de este cultivo contó en algún momento con asistencia técnica. Además, el 98.65% de la producción se mantiene por temporal (SAGARPA, 2017). El Diario Oficial de la Federación (DOF) detalla las especificaciones de las bebidas destiladas derivadas de agave como lo es el mezcal, bacanora y tequila. El mezcal es una bebida alcohólica destilada mexicana, 100 % de agave, obtenida por destilación de jugos fermentados con microorganismos espontáneos o cultivados, extraídos de cabezas maduras de magueyes o agaves

cocidos (Diario Oficial de la Federación, 2004, 2012, 2016).

En la sierra de San Carlos, Tamaulipas el mezcal (llamado localmente “vino” o “vino-mezcal”) es preferentemente utilizada la especie *Agave americana* L. subsp. *protamericana* Gentry (“maguey cenizo”) y, en menor relación, *Agave univittata* Haw. y *Agave funkiana* K. Koch & Bouché, ambas conocidas como “lechiguilla” o “amole”. Entre las especies utilizadas para producir mezcal destaca la especie *Agave montium-sancticaroli*, la cual es enormemente apreciada por los productores de la región, debido a su contenido elevado de azúcares, mayor al de *A. americana* subsp. *protamericana* (García-Mendoza, 2007; García-Mendoza *et al.*, 2007).

La explotación clandestina e irracional de agave en México es un problema grave, se considera que en los próximos años existirá un déficit de materia prima debido a la sobreexplotación de ejemplares jóvenes, por lo cual, en este momento es primordial acelerar la reproducción mediante la biotecnología (Cervantes-Ramírez, 2005; Flores-Morales *et al.*, 2009), por esta razón se pretende encontrar protocolos eficientes para la multiplicación de la especie de manera controlada, ya que en muchos casos algunas especies de agave se han encontrado en categoría de amenaza o en peligro de extinción, principalmente las especies silvestres (Aguilar-Jiménez *et al.*, 2018).

Considerando lo antes mencionado, en la última década las contribuciones para las técnicas *in vitro* utilizadas para la propagación vegetal han simplificado la tecnología de micropropagación y al mismo tiempo han aparecido nuevos desafíos. Los protocolos y técnicas de micropropagación existentes (algunos de estos utilizados rutinariamente en laboratorios) han costado una serie de pasos y esfuerzo durante décadas a científicos e investigadores. Algunos de los factores



determinantes son la combinación y concentración de reguladores de crecimiento en relación al volumen del medio, además de su composición; el estado fisiológico y la competencia de las células; y sus capacidades para la expresión morfogénica (Lyam *et al.*, 2012).

La hiperhidricidad es un fenómeno indeseable que se favorece en medios de cultivo líquido y decrece con el incremento de agar en el medio, recomendándose concentraciones de 8.0 y 10 mg L⁻¹ de agar para evitar este efecto (Caraballo *et al.*, 2006). Las altas concentraciones de citoquininas en la fase de multiplicación favorecen la hiperhidricidad y reduce su capacidad de enraizamiento.

Uno de los mayores problemas que enfrenta la producción de plántulas micropropagadas a gran escala es el estrés generado por el cambio de las condiciones de cultivo *in vitro* al momento de aclimatar (Monja-Mio *et al.*, 2015).

Para que el agave consiga ser transferido desde un ambiente *in vitro* a uno *ex vitro*, la supervivencia de la especie dependerá de parámetros de suma importancia como la humedad relativa, el sustrato, la fertirrigación y el vigor de la vitroplanta para lograr la aclimatación de estas vitroplantas (Enríquez-Del-Valle *et al.*, 2016; Scherer *et al.*, 2015; Yescas-Arreola *et al.*, 2016). Durante el transcurso de esta aclimatación total, las plantas pierden sus hojas formadas durante la etapa *in vitro* y producen hojas nuevas con características fenotípicas propias de la especie (Cruz-García *et al.*, 2017).

Hipótesis

La micropropagación de brotes de *A. montium-sancticaroli* se puede lograr mediante el uso de diversas concentraciones de reguladores de crecimiento.

Objetivos

Desarrollar un protocolo de micropropagación de *A. montium-sancticaroli* que permita la multiplicación masiva *in vitro*.

- Establecer asépticamente los explantes de *A. montium-sancticaroli* en medios de cultivo adecuados que favorezcan su desarrollo *in vitro*.
- Definir la combinación de reguladores de crecimiento que permitan la inducción de brotes en *A. montium-sancticaroli*.
- Evaluar la multiplicación de brotes de *A. montium-sancticaroli* con diferentes combinaciones y concentraciones de reguladores de crecimiento.
- Determinar la capacidad de enraizamiento de brotes regenerados *in vitro*.
- Determinar el proceso de aclimatación de las plantas regeneradas.

Materiales y Métodos

Esta investigación se realizó en el laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales del campus de ciencias Agropecuarias, en General Escobedo, N.L. de la Universidad Autónoma de Nuevo León. El material vegetal utilizado fue recolectado de los municipios de San Carlos y Jiménez, Tamaulipas. El periodo de la investigación tendrá una duración de Agosto del 2018 a Mayo del 2020.

Multiplicación de brotes de *A. montium-sancticaroli*

Los brotes regenerados provenientes de la etapa de inducción con 2 cm de altura fueron seleccionados en condiciones de asepsia, los cuales fueron utilizados como fuente de explantes en esta etapa. Estos brotes fueron establecidos en medio MS (Murashige & Skoog, 1962), adicionado



con vitaminas, 30 g.L⁻¹ de sacarosa; además suplementados de distintos niveles fitohormonales (Cuadro 1) de 6-bencilaminopurina (BAP) y ácido 1-naftalenacético (ANA); Asimismo el pH fue ajustado a 5.7 ± 0.02 y se solidificó con 4.4 g.L⁻¹ de Phytigel™ para posteriormente ser esterilizados en autoclave de vapor a 147.1 kPa durante 15 min.

Cuadro 1. Tratamientos utilizados en la etapa de multiplicación de brotes.

Tratamiento	BAP	ANA
Control	0.0	0.0
1	3.0	0.1
2	4.0	0.1
3	3.0	0.3
4	4.0	0.3

Posteriormente se sometieron a fotoperiodo de 16 horas luz y 8 oscuridad y 23 ± 2 °C, los explantes permanecieron en estas condiciones por 8 semanas para poder evaluar el número de explantes con brote, brotes por explante y longitud de brotes.

Enraizamiento de brotes *A. montium-sancticaroli*

La etapa de inducción de raíces inició utilizando brotes provenientes de la etapa anterior, que, con la finalidad de evaluar las variables, los brotes fueron subcultivados al mismo medio de cultivo, suplementado de los niveles hormonales utilizados en la etapa anterior. Concluido el subcultivo las unidades experimentales fueron incubadas bajo las condiciones descritas anteriormente, y después de 6 semanas se evaluó el número de raíces por explante y longitud de raíces.

Aclimatación de plantas *A. montium-sancticaroli* micropropagadas

Con el propósito de lograr la supervivencia de las plantas enraizadas, a estas se les removió el medio de cultivo, para después ser enjuagadas. Posteriormente se rociaron con una solución antifúngica/bactericida (3.0 g.L⁻¹ de Bavistin®, 600 y 2.0 g.L⁻¹ de Oxitetraciclina), se dejaron cicatrizar por 4 horas y subsiguientemente se transfirieron a macetas de 400 ml con distintos sustratos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Tratamientos utilizados durante la aclimatación de *A. montium-sancticaroli*.

Peat moss (%)	Perlita (%)	Fertilización foliar	
		SF	CF
100.0	0.0	T1	T6
75.0	25.0	T2	T7
50.0	50.0	T3	T8
25.0	75.0	T4	T9
0.0	100.0	T5	T10

SF = Sin fertilizante; CF = Con fertilizante.

Una vez transferidas, las unidades experimentales permanecieron en condiciones de invernadero, se regaron con una frecuencia de dos veces por semana con agua bidestilada, y a los tratamientos T6–T10 se les aplicó una dosis de 5 ppm de fertilizante foliar Ferti Plus_{MR} cada dos semanas. Todas las macetas fueron cubiertas durante las 10 semanas con bolsas de plástico transparente para mantener la humedad relativa alta y se perforaron gradualmente cada dos semanas, hasta retirar por completo la bolsa.

- Longitud de las plantas (cm): se midió con una regla, desde la base del tallo hasta el ápice de la hoja superior.
- Longitud de las hojas (cm): se midió con una regla, desde la inserción del limbo con el peciolo hasta el ápice de la hoja.

Las variables evaluadas fueron:

- Número de plantas vivas.



- Número de hojas: Para este parámetro se contabilizaron únicamente las hojas totalmente extendidas.
- Longitud de hojas: Este parámetro fue medido con una regla, desde la parte basal, hasta el ápice de la hoja.
- Ancho de hoja: Esta variable fue medida con una regla por la parte más ancha de la hoja.

Diseño del experimento

En la etapa de multiplicación de brotes y las variables evaluadas tuvieron un diseño completamente al azar con arreglo factorial, 2 x 2 donde el primer factor es la concentración de la citocinina BAP y el segundo factor es la concentración de la auxina ANA, con el modelo $Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$. Con un total de cuatro tratamientos, más un testigo, 10 repeticiones por cada uno y 6 explantes por repetición.

Para el enraizamiento de brotes se utilizó el mismo diseño experimental de la etapa anterior. Con un total de cuatro tratamientos, más un testigo, 10 repeticiones por cada uno y 6 explantes por repetición.

En la etapa de aclimatación las variables evaluadas tuvieron un diseño completamente al azar factorial, 5 x 2 donde el primer factor es la proporción del sustrato y el segundo factor es el fertilizante foliar, con el modelo $Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$. Con un total de 10 tratamientos, más un testigo, 10 repeticiones por cada uno y una planta por repetición.

Los resultados obtenidos se analizaron con un análisis de varianza utilizando el paquete estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2020) y la prueba de comparación de promedios por medio de Tukey.

Resultados y Discusión

Los resultados obtenidos después de las 14 semanas demostraron que todos los tratamientos propiciaron un mayor número

de explantes con brotes con respecto al control (Cuadro 3) esto coincide con lo reportado por Domínguez-Rosales *et al.* (2008) quien hace análisis de BAP y otras fitohormonas.

Cuadro 3. ANOVA de explantes de *A. montium-sancticaroli* con brotes.

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Control	0.28	60	0.04	A
1	0.85	60	0.04	B
2	0.92	60	0.04	B
3	0.97	60	0.04	B
4	0.98	60	0.04	B

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.15187

Error: 0.0927 gl: 295

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Asimismo, se evaluaron las variables brotes por explante y longitud de brotes (ver Figura 1 y 2), donde se encontró que los tratamientos con 2, 3 y 4 resultaron los mejores para la multiplicación de brotes; en cuanto a la longitud de brotes, no se presentó diferencia estadística entre T1, T2 Y T3, pero si existió diferencia entre estos y el tratamiento control y T4.

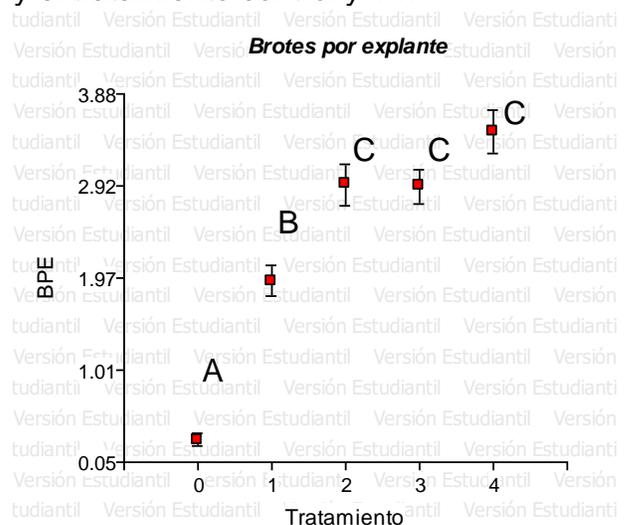


Figura 1. Número de brotes por explante de *A. montium-sancticaroli*. Medias con una



letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

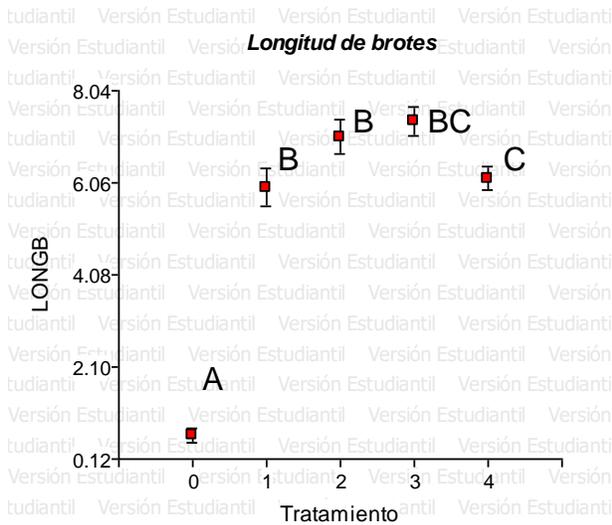


Figura 2. Longitud de brotes de *A. montium-sancticaroli*. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

La capacidad de enraizamiento en los tratamientos fue mayor estadísticamente a la obtenida en el control, el cual carecía de auxinas (ver Figura 3 y 4), esto coincide con lo reportado en *Agave angustifolia* (Enríquez-del-Valle *et al.*, 2005), donde se recomienda el uso de ácido indolbutírico (AIB) para inducir enraizamiento, contrario a lo reportado en *Agave vitoriae-reginae* (Martínez-Palacios *et al.*, 2003) donde se ha obtenido una alta tasa de enraizamiento en tratamientos donde no se habían utilizado auxinas.

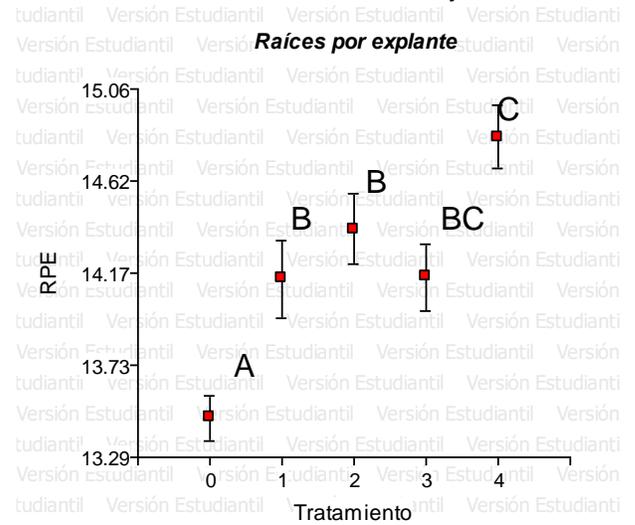


Figura 3. Raíces por explante de *A. montium-sancticaroli*. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

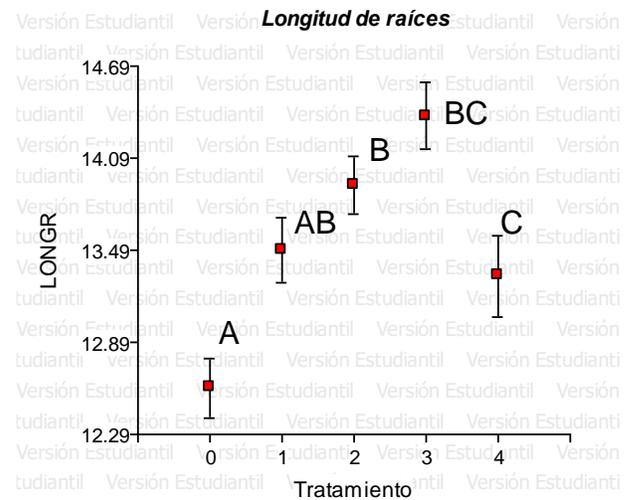


Figura 4. Longitud de raíces de *A. montium-sancticaroli*. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Mientras que en la etapa de aclimatación no se presentaron diferencias entre los tratamientos para la supervivencia de plantas (Cuadro 4); el número de hojas de las plantas resultó mejor en los tratamientos T4 y T6 a T10, siendo el T8 y T9 con las mayores medias, con 6.60 hojas por planta (



Cuadro 5). Esto es concurrente con lo investigado en *Morus alba* L., la aclimatación de esta especie resultó en la supervivencia del 88.6% cuando fue de manera gradual, mientras que apenas el 40% en tratamientos donde se transfirieron directamente a invernadero (Yescas-Arreola *et al.*, 2016).

Cuadro 4. Número de plantas vivas (Aclimatadas) de *A. montium-sancticaroli*.

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.29019
Error: 0.0400 gl: 90

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
1	0.90	10	0.06	A
2	0.90	10	0.06	A
3	1.00	10	0.06	A
4	1.00	10	0.06	A
5	0.90	10	0.06	A
6	0.90	10	0.06	A
7	1.00	10	0.06	A
8	1.00	10	0.06	A
9	1.00	10	0.06	A
10	1.00	10	0.06	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Cuadro 5. Número de hojas de *A. montium-sancticaroli*.

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.86757
Error: 1.8389 gl: 90

T	Medias	n	E.E.			
1	4.40	10	0.43	B	C	
2	4.00	10	0.43		C	
3	4.60	10	0.43	B	C	
4	5.20	10	0.43	A	B	C
5	4.10	10	0.43		C	
6	5.10	10	0.43	A	B	C
7	5.40	10	0.43	A	B	C
8	6.60	10	0.43	A		
9	6.60	10	0.43	A		
10	6.30	10	0.43	A	B	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Por otro lado, la longitud de hojas resultó mejor en los tratamientos T8 y T9, siendo T8 el que obtuvo la mayor media, con 7.52 cm por hoja (ver **Cuadro 6**); asimismo el ancho de hoja resultó mejor en todos los tratamientos fertilizados (T6 a T10), siendo T9 el de mayor media, con 1.31 cm por hoja (ver

Cuadro 7). Esto coincide con lo investigado en *Agave potatorum* Zucc. donde se demostró un desarrollo y crecimiento adicional en el número de hojas, peso seco foliar, área foliar, diámetro del tallo, peso seco del tallo, número de raíces primarias, volumen de raíz y peso seco de raíces, en respuesta a dosis crecientes de fertilizante (Enríquez-Del-Valle *et al.*, 2016).

Cuadro 6. Longitud de hojas de *A. montium-sancticaroli*.

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.76795
Error: 1.4847 gl: 90

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
1	3.70	10	0.06	D
2	4.14	10	0.06	D
3	4.98	10	0.06	CD
4	5.10	10	0.06	BCD
5	4.10	10	0.06	D
6	6.39	10	0.06	ABC
7	6.78	10	0.06	AB
8	7.52	10	0.06	A
9	7.20	10	0.06	A
10	6.83	10	0.06	AB

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).



Cuadro 7. Ancho de hoja de *A. montium-sancticaroli*.

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.28942
Error: 0.0398 gl: 90

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
1	0.57	10	0.06	B
2	0.55	10	0.06	B
3	0.70	10	0.06	B
4	0.69	10	0.06	B
5	0.59	10	0.06	B
6	1.09	10	0.06	A
7	1.23	10	0.06	A
8	1.27	10	0.06	A
9	1.31	10	0.06	A
10	1.29	10	0.06	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Conclusiones

El número de explantes con brotes resultó mejor en todos los tratamientos con respecto al control, esto indica que la combinación de BAP y ANA conlleva a los resultados esperados de formación de brotes en *A. montium-sancticaroli*.

Mientras que los brotes por explante y la longitud de estos, demostraron ser mejores en aquellos tratamientos que contenían T2, T3 y T4, esto nos indica que las concentraciones de estas fitohormonas producen un efecto positivo a estas concentraciones.

Por otro lado, el número de raíces por explante destacó en el tratamiento T4, pero la longitud de sus raíces bajó en contraste con el tratamiento T3; esto indica que al aumentar la concentración fitohormonal, puede verse afectada negativamente la longitud de raíces.

El porcentaje de supervivencia en todos los tratamientos es mayor de 90%, lo cual podría indicar que el procedimiento de aclimatación utilizado es adecuado para la

especie. Asimismo, se encontró que el número, largo y ancho de hojas está relacionado directamente con la disponibilidad de nutrientes para la planta; y esta responde mejor en sustratos con alta aireación (con perlita).

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca de manutención.

Al programa PAICYT-UANL por apoyar para la realización de este proyecto.

Referencias Bibliográficas

- Aguilar-Jiménez, D., Rodríguez-de la O, J. L., & Herrera-López, H. (2018). Obtención de brotes *in vitro* en *Agave potatorum* Zucc. *Revista Científica Multidisciplinaria*, 2(29), 5–7.
- Bautista-D., N., & Arias-A., G. C. (2008). Estudio químico bromatológico de aguamiel de *Agave americana* L. (Maguey). *Ciencia e Investigación*, 11(2), 46–51.
- Callen, E. O. (1965). Food Habits of Some Pre-Columbian Mexican Indians. *Economic Botany*, 19(4), 335–343. <http://www.jstor.org/stable/4252642>
- Caraballo, M. G., García, S. A., & Oramas, G. G. (2006). *Influencia del estado físico del medio de cultivo y diferentes combinaciones de reguladores del crecimiento sobre la formación de brotes axilares en Agave fourcroydes Lem.* 6(1), 3–7.
- Cervantes-Ramírez, M. C. (2005). *PLANTAS DE IMPORTANCIA ECONÓMICA EN ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS DE MÉXICO*. <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal10/Procesosambientales/Usoderecursos/08.pdf>
- Cruz-García, H., Campos-Ángeles, G. V., Enríquez-del-Valle, J. R., Velasco-Velasco, V. A., & Rodríguez-Ortiz, G.



- (2017). Senescencia foliar en plantas micropropagadas de Agave americana durante su aclimatización. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(2), 381–391.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. (2020). *InfoStat versión 2020*. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. <http://www.infostat.com.ar>
- Diario Oficial de la Federación. (2004). *Norma Oficial Mexicana NOM-168-SCFI-2004* (pp. 1–21). D.O.F.
- Diario Oficial de la Federación. (2012). *Norma Oficial Mexicana NOM-006-SCFI-2012* (pp. 1–20). D.O.F.
- Diario Oficial de la Federación. (2016). *Norma Oficial Mexicana NOM-070-SCFI-2016* (pp. 1–17). D.O.F.
- Domínguez-Rosales, M. S., Alpuche-Solís, Á. G., Vasco-Méndez, N. L., & Molphe-Balch, E. P. (2008). Efecto de Citocininas en la Propagación *in vitro* de Agaves Mexicanos. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(4), 317–322.
- Enríquez-Del-Valle, J. R., Alrcara-Vázquez, S. E., Rodríguez-Ortiz, G., & Miguel-Luna, M. E. (2016). Fertirriego en vivero a plantas de Agave potatorum Zucc micropropagadas-aclimatizadas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(5), 1167–1177.
- Enríquez-del-Valle, J. R., Carrillo-Castañeda, G., & Rodríguez-de-la-O, J. L. (2005). Sales inorgánicas y ácido indolbutírico en el enraizado *in vitro* de brotes de Agave angustifolia. En *Revista Fitotecnia Mexicana* (Vol. 28, Número 2). Correo.
- Espinosa-Barrera, L. A. (2015). Generalidades e importancia de los agaves en México. *Herbario CICY*, 7(10), 161–164. https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Desde_Herbario/2015/2015-10-22-Espinosa_Barrera-Generalidades_e_importancia_de_los_agaves_en_Mexico.pdf
- Flores-Morales, A., Castañeda-Hidalgo, E., Sánchez-Pérez, F. J., Romero-Aguilar, L., & Ruiz-Luna, J. (2009). Mecanismos de conservación y uso del maguey pulquero Agave salmiana en el altiplano Mexicano. *Somas (Sociedad Mexicana de Agricultura Sostenible)*, 6, 1–10.
- García-Mendoza, A. J. (2007). Los agaves de México. *Ciencias* 87, 14–23. https://www.revistaciencias.unam.mx/images/stories/Articles/87/02/Los_agaves_de_Mexico.pdf
- García-Mendoza, A. J., Jacques-Hernández, C., & Salazar-Bravo, Á. (2007). UNA NUEVA ESPECIE DE AGAVE, SUBGÉNERO LITTAEA (AGAVACEAE) DE TAMAULIPAS, MÉXICO. *Journal of the Botanical Research institute of Texas*, 1(1), 79–84. www.jstor.org/stable/41971388
- Gentry, H. S. (1982). *Agaves of Continental North America*. The University of Arizona Press. https://books.google.com.mx/books?id=SCqGyWNpRHwC&lpg=PR11&ots=lod6kM_WZX&dq=gentry+1982+agaves+of+continental+north+america&hl=es&pg=PR4#v=onepage&q&f=false
- Guillot-Ortiz, D., Van der Meer, P., Laguna-Lumbreras, E., & Rosselló-Picornell, J. A. (2009). *El género Agave L. en la flora alóctona valenciana (Vol. 3)* (J. L. Benito Alonso (ed.)). Revista Bouteloua.
- Lyam, P. T., Musa, M. L., Jamaledine, Z. O., Okere, U. A., & Odofin, W. T. (2012). The Potential of Temporary Immersion Bioreactors (TIBs) in Meeting Crop Production Demand in Nigeria. *Journal of Biology and Life Science*, 3(1), 66–86. <https://doi.org/10.5296/jbls.v3i1.1156>



- Martínez-Palacios, A., Ortega-Larrocea, M. P., Chávez, V. M., & Bye, R. (2003). Somatic embryogenesis and organogenesis of *Agave victoriae-reginae*: *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 74, 135–142. <https://doi.org/10.1023/A:1023933123131>
- Monja-Mio, K. M., Barredo-Pool, F., Herrera-Herrera, G., Esqueda-Valle, M., & Robert, M. L. (2015). Development of the stomatal complex and leaf surface of *Agave angustifolia* Haw. 'Bacanora' plantlets during the *in vitro* to *ex vitro* transition process. *Scientia Horticulturae*, 189, 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.03.032>
- Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A Revised Medium for Rapid Growth and Bio Assays with Tobacco Tissue Cultures. *Physiologia Plantarum*, 15, 473–497.
- SAGARPA. (2017). *Planeación Agrícola Nacional 2017-2030, Agave Tequilero y Mezcalero Mexicano* (p. 15).
- Scherer, R. F., Holderbaum, D. F., Garcia, A. C., Silva, D. A. da, Steinmacher, D. A., & Guerra, M. P. (2015). Effects of immersion system and gibberellic acid on the growth and acclimatization of micropropagated pineapple. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 15(2), 66–71. <https://doi.org/10.1590/1984-70332015v15n2a13>
- Yescas-Arreola, E., Campos-Ángeles, G. V., Enríquez-del-Valle, J. R., Velasco-Velasco, V. A., Rodríguez-Ortíz, G., & Ruíz-Luna, J. (2016). Acclimatización de *Agave americana* var. *Oaxacensis* obtenidas *in vitro**. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(4), 911–922.



Efecto de la densidad de siembra y genotipo en variables agronómicas de trigo harinero en dos ambientes

Estefanía González-Muñoz¹; José Elías Treviño-Ramírez¹; Jesús Andrés Pedroza-Flores¹; Juan Francisco Pissani-Zuñiga¹; Juan Martínez-Medina².

¹Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León. Calle Francisco Villa S/N, Col. Ex Hacienda El Canadá, Gral. Escobedo, N.L. C.P. 66054. México. ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Gral. Terán. Carretera Montemorelos–China. Km. 31, Gral. Terán NL. México. E-mail: estefania.gonzalezmnz@uanl.edu.mx

Resumen. El trigo es considerado como el cereal con mayor influencia en la dieta, nutrición y salud del ser humano. Su importancia también tiene alcance en la economía y generación de empleos en todo el mundo. En el presente trabajo se evaluó el efecto de la densidad de siembra y genotipo, factores que tienen relación directa en el rendimiento de grano y variables agronómicas, en tres variedades de trigo harinero: San Isidro NL M2012, Floreña NL M2012 y Conatrigo F2015. El estudio se llevó a cabo en dos localidades (Aramberri y Marín, Nuevo León, México) durante distintos ciclos agrícolas comprendidos en el periodo 2019-2020. Las densidades de siembra utilizadas fueron: 80, 120 y 160 kg de semilla ha⁻¹, obteniéndose diferencias significativas en factores simples de variedad y densidad de siembra en ambas localidades, pero no en las interacciones.

Palabras clave: *Triticum aestivum* L., variedades panificables, paquete tecnológico, espiga, altura de planta.

Abstract. Wheat is considered as the cereal with the greatest influence on the diet, nutrition, and health of the human being. Its importance also has scope in the economy and job generation throughout the world. In this work, the effect of seeding rate and genotype, factors that have a direct relationship on grain yield and agronomic variables, was evaluated in three breadmaking varieties of wheat: San Isidro NL M2012, Floreña NL M2012 and Conatrigo F2015. The study was carried out in two locations (Aramberri and Marín, Nuevo León, Mexico) during different agricultural cycles in the 2019-2020 period. The seeding rates used were: 80, 120 and 160 kg ha⁻¹ of seed, obtaining significant differences in simple factors of variety and seeding rate in both locations, but not in the interactions.

Keywords: *Triticum aestivum* L., breadmaking varieties, technology package, spike, plant height.

Introducción

A nivel mundial, el trigo es el cereal más utilizado en la alimentación humana. Su importancia en la dieta de los seres humanos reside principalmente en su alto valor energético. Instituciones alrededor del mundo, encargadas en la promoción

de dietas balanceadas, recomiendan que el 45-65% del aporte calórico provenga de los cereales en general, confirmando que estos, incluyendo al trigo, deben ser parte de una dieta diaria saludable (Jones *et al.*, 2015). A su ventaja nutritiva se suman características de procesamiento únicas entre los cereales, que lo colocan entre los



que más se utilizan como materia prima para elaborar gran diversidad de alimentos procesados, justificándose así su importancia tanto en el abasto como en la economía y generación de empleos en todo el mundo (Peña *et al.*, 2007).

Este cereal abarca a nivel mundial una superficie cosechada de 219 millones de hectáreas por año, seguido por el maíz y el arroz con 117 y 162 millones de hectáreas cosechadas por año, respectivamente; de tal manera que estos cultivos cubren el 50% de la superficie cosechada mundial (Divito y García, 2017). En el año agrícola 2017, México estuvo posicionado en el vigésimo noveno lugar, con una producción de 3,503,521 toneladas (SIAP, 2018), de las cuales, 1,424,187 representaron el volumen de trigo panificable (SADER, 2019). A nivel nacional, Nuevo León se encuentra en el octavo lugar con un registro de volumen de producción de 53,079 toneladas en el año 2017 (SIAP, 2018). El último Boletín Agropecuario (abril 2020) publicado por la Secretaría de Desarrollo Agropecuario del Estado de Nuevo León (2020) señala que en el ciclo tardío Otoño-Invierno 2018-2019 se cosecharon en el estado 22,751 hectáreas de trigo, de las cuales se generó un volumen de producción de 50,108 toneladas, convirtiendo al trigo en el cultivo con más superficie sembrada en dicho ciclo agrícola.

Debido a la necesidad de actualización de la información productiva de las diferentes variedades disponibles en la región, resulta importante considerar en el manejo agronómico la optimización del número de plantas por unidad de área y su relación con la cantidad de semilla necesaria para establecer una hectárea, entendiendo que una densidad óptima de siembra es un factor que influye directamente en las características agronómicas, rendimiento y calidad de grano de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.).

La optimización de la densidad de siembra se considera uno de los principales factores que determinan la capacidad del cultivo para capturar recursos (Lloveras *et al.*, 2004) y generar competencia entre plantas, así como la posterior conversión de energía solar en productos cosechables (Kabesh *et al.*, 2009) y es debido a que está bajo el control del agricultor que se convierte en un aspecto importante en la toma de decisiones, sobre todo en la reducción de costos de producción. En este sentido, como las densidades óptimas de siembra varían en gran medida entre áreas, condiciones climáticas, suelo, fecha de siembra y las variedades difieren genéticamente para los componentes de rendimiento, es importante una evaluación en diversos rangos de densidades de siembra y ambientes y así determinar el manejo agronómico más adecuado para una región específica (Wiersma, 2002).

Se dispone de escasa información referente a la respuesta a diferentes densidades de siembra y a una densidad de siembra óptima en las variedades de trigo harinero utilizadas en las zonas productoras del Estado de Nuevo León, en donde se siembra en distintos ciclos agrícolas debido a que las zonas productoras varían considerablemente en términos de sus condiciones ambientales. Es por lo anterior que el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de una gama de densidades de siembra, el genotipo y el ambiente en variables agronómicas relacionadas con el rendimiento, ciclo de vida, morfología y fitosanidad de tres variedades de trigo harinero en dos localidades: Marín y Aramberri, Nuevo León durante distintos ciclos agrícolas comprendidos en el periodo 2019-2020.

Materiales y Métodos

El estudio consistió en dos etapas correspondientes a dos fechas de siembra



en dos ambientes diferentes: Aramberri y Marín, municipios pertenecientes al estado de Nuevo León. El trabajo en la Localidad 1 (L1) se llevó a cabo en el municipio de Aramberri durante los meses de junio a octubre 2019 en la Facultad de Agronomía - UANL, Campus La Ascensión, ubicado en Carretera La Ascensión – Sandia El Grande Km. 3, Ejido La Ascensión, Aramberri, N.L., con una altitud de 1963 msnm., temperatura y precipitación promedio anual de 19.9°C y 425 mm, respectivamente (INEGI, 2017 y Leal, J., 2012). Posteriormente en el ciclo agrícola Otoño – Invierno 2019-2020 (diciembre 2019 - abril 2020), se estableció el estudio en la Localidad 2 (L2) en la Facultad de Agronomía - UANL, Campus Marín, ubicado en Carretera Zuazua - Marín Km. 17.5, Marín, N.L., con una altitud de 396 msnm., temperatura y precipitación promedio anual de 22°C y 573 mm, respectivamente (INAFED, 2009). Las variedades de trigo panificable evaluadas fueron: (V1) San Isidro NL M2012, (V2) Floreña NL M2012 y (V3) Conatrigo F2015, recomendadas para siembras en el Noreste de México. Las densidades de siembra que se utilizaron fueron: (D1) 80, (D2) 120 y (D3) 160 kg de semilla ha⁻¹.

Arreglo de tratamientos y diseño experimental

Tratamiento	Variedad	Densidad
1	V1	D1
2	V1	D2
3	V1	D3
4	V2	D1
5	V2	D2
6	V2	D3
7	V3	D1
8	V3	D2
9	V3	D3

El diseño experimental fue bloques al azar con un arreglo en parcelas divididas. Los nueve tratamientos quedaron conformados por la combinación de

genotipo x densidad con cuatro repeticiones (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tratamientos derivados de la combinación de tres variedades y tres densidades de siembra.



La parcela grande correspondió a la variedad y la sub-parcela a las densidades. Cada unidad experimental se conformó por 4 surcos de 5 m de largo distanciados a 50 cm, combinando el efecto de una variedad con una densidad determinada. De esta manera, en las cuatro repeticiones se tenían las tres variedades con las tres densidades de siembra distribuidas en forma aleatoria (36 unidades experimentales). Entre cada parcela se colocaron 2 m de espaciamiento.

Figura 1. Unidades experimentales en Localidad 1. 31 agosto 2019. 64 días después de la siembra (DDS).

Desarrollo del trabajo experimental

Se realizaron las labores de preparación





de suelo mediante labranza convencional y antes de la siembra se cuadrículó el terreno para establecer las franjas con los tratamientos. La fecha de siembra en L1 fue el 28 de junio de 2019 y la cosecha se realizó el 25 de octubre 2019; en L2 la siembra ocurrió el 20 de diciembre 2019 y la cosecha el 17 de abril 2020. En ambas localidades se aplicaron 3 riegos de auxilio, no se observó problema con plagas, y se tomaron datos de variables agronómicas en distintas etapas. En L1, al 31 de agosto 2019 (64 DDS) las variedades V1 y V2 se encontraban en etapa de floración, sin embargo, la variedad V3 tardó diez días más en alcanzar dicha etapa reproductiva; en esta misma fecha se realizaron observaciones de incidencia de enfermedades. En L2, al 9 de marzo las variedades V1 y V2 (80 DDS) se encontraban en etapa de floración mientras que V3 tardó entre tres y cuatro días más en alcanzar dicha etapa. La cosecha se realizó de forma manual en las parcelas de muestreo, las cuales consistieron en 2 metros lineales de los dos surcos centrales de cada tratamiento en las cuatro repeticiones. Se introdujo el material cosechado en bolsas de papel, debidamente identificadas y fueron resguardadas para ser utilizadas posteriormente en la toma de datos de otras variables agronómicas (Figura 3).



Figura 3. Cosecha de unidades experimentales en L1. 25 octubre 2019. 119 días después de la siembra (DDS).

Variables de estudio

Las variables agronómicas registradas en ambas localidades fueron:

Incidencia de roya (IR)

Se realizó la observación en la etapa de floración, empleando la escala de Stubbs *et al.* (1986), la cual indica la respuesta, es decir, el tipo de reacción ante la enfermedad en donde: 0= sin infección, R= Resistente (visible clorosis o necrosis con o sin pústulas pequeñas), MR= Moderadamente resistente (pústulas pequeñas rodeadas por áreas necróticas), M= Intermedia (pústulas de tamaño variable, algo de necrosis/clorosis), MS= Moderadamente susceptible (pústulas de tamaño mediano, no hay necrosis, pero sí clorosis), S= Susceptible (pústulas grandes, sin necrosis ni clorosis).

Días a floración (DF)

Se registró el dato tomando en cuenta los días que transcurrieron después de la siembra para alcanzar la etapa de floración, cuando el 50%+1 de las plantas de todas las unidades experimentales tenían las espigas totalmente descubiertas, sobresaliendo de la hoja bandera, revisando que sus anteras estuvieran emergidas de las glumas.

Días a madurez fisiológica (DMF)

Esta variable se determinó contando los días transcurridos desde la siembra hasta que el 50% de las plantas llegaron a la etapa de madurez fisiológica, la cual se observó cuando las espigas presentaron pedúnculos amarillentos y la consistencia del grano presentó dureza al presionarlo.

Altura de planta (AP)

Se midió en la etapa de llenado de grano con un flexómetro, seleccionando 10



plantas representativas de cada tratamiento y repetición, desde la superficie del suelo hasta el extremo de la inflorescencia, sin incluir las aristas (barbas) en la medición, registrando el dato hasta el centímetro más cercano.

Longitud de espiga (LE)

Se midió en centímetros con una regla en la fase de madurez fisiológica, seleccionando diez plantas representativas de cada tratamiento y repetición desde la base de la espiga hasta la espiguilla terminal, sin tomar en cuenta las aristas.

Número de macollos por planta (tallos secundarios o hijuelos) (NMP)

Se seleccionaron cinco plantas representativas en cada parcela para cada uno de los genotipos con competencia completa y por repetición. La medición se realizó cuando la floración superó el 50%.

Número de tallos por m² (NTM₂)

Se contó el número total de tallos en 1 m² cosechado de cada una de las parcelas (36).

Rendimiento de forraje seco por hectárea (RFSH)

El material cosechado de las 36 parcelas de muestreo se pesó en una báscula electrónica y se registró en kg por parcela. Posteriormente se convirtió el dato de rendimiento de forraje seco por parcela de muestreo (1 m²) a rendimiento por hectárea y se expresó en kg ha⁻¹.

Rendimiento de grano por hectárea (RGH)

Se trilló el material cosechado de las 36 parcelas de muestreo y se pesaron los

granos en una báscula electrónica, registrándose el dato en kg por parcela. Posteriormente se convirtió el dato de rendimiento de grano por parcela de muestreo (1 m²) a rendimiento por hectárea y se expresó en kg ha⁻¹.

Análisis estadísticos

Las variables: DF, DMF, AP, LE, NMP, NTM₂, RFSH y RGH fueron sometidas a un análisis de varianza mediante el paquete estadístico de Diseños Experimentales Versión 1.7 (Olivares, 2016). La comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). La variable incidencia de roya es fundamentalmente descriptiva y se basó en observaciones.

Resultados y Discusión

Incidencia de roya (IR)

En la Localidad 1, las tres variedades no tuvieron incidencia de roya lineal o amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) en todas las parcelas de las cuatro repeticiones, por lo tanto, se clasificaron en dicha zona de estudio como R= Resistentes (áreas necróticas con o sin pústulas pequeñas). Por otro lado, en la Localidad 2 si se observaron plantas con incidencia de la enfermedad, clasificándose la V3 como MS (moderadamente susceptible) (Figura 4).



Figura 4. Variedad Conatrigo F2015 con incidencia de roya lineal. Localidad 2. 11 de marzo 2020.

Días a floración (DF)

El análisis de varianza indica una diferencia significativa para el factor A en ambas localidades (Cuadro 2). No se encontró diferencia significativa para el Factor B, ni para las interacciones (AxB). En L1 los días a floración oscilaron de 61.0 a 72.5; en L2 fue diferente, alcanzando dicha etapa de los 80.2 a los 83.5 días. Figueroa-López *et al.* (2011) mencionan que la variedad Roelfs F2007 recomendada para siembra en el noroeste de México tiene un rango de 68 a 106 días a floración. De acuerdo con Carestía *et al.* (2016) y Miralles (2004) la diferencia en los días a floración se debe a que la temperatura es el principal factor

Cuadro 2. Resultados de variables agronómicas considerando ambos factores de estudio (A= variedad; B= densidad) en dos localidades.

Localidad	Variable	DF	DMF	AP	LE	NMP	NTM ²	RFSH	RGH
La Ascensión, N.L. Jun-Oct 2019	Factor A	Medias							
		V3 72.58 a	V3 112.58 a	V1 91.43	V3 8.74 a	V1 2.66	V1 341.91	V1 9408.33	V1 3691.66
		V1 65.08 b	V1 105.08 b	V2 91.75	V2 8.70 a	V2 2.91	V2 306.08	V2 8895.83	V2 3547.50
	V2 61.00 c	V2 101.00 c	V3 90.65	V1 8.18 b	V3 2.59	V3 322.16	V3 10099.16	V3 3100.00	
	Factor B	D1 65.50	D1 105.50	D1 91.09	D1 8.64	D1 2.60	D1 329.25	D1 9645.83	D2 3631.66 a
		D2 66.25	D2 106.25	D2 91.15	D2 8.55	D2 2.75	D2 324.41	D2 10098.33	D1 3620.83 a
D3 66.91		D3 106.91	D3 91.60	D3 8.43	D3 2.81	D3 316.50	D3 8659.16	D3 3086.66 b	
Marín, N.L. Dic 2019-Abr 2020	Factor A	V3 83.50 a	V3 120.50 a	V1 90.13 a	V1 8.61	V1 3.00	V1 327.33	V1 6641.66	V1 2285.00
		V1 80.50 b	V1 117.50 b	V2 89.75 a	V2 9.15	V2 3.05	V2 298.16	V2 6850.83	V2 2390.00
		V2 80.25 b	V2 117.25 b	V3 80.97 b	V3 8.86	V3 2.81	V3 294.66	V3 7210.00	V3 2490.83
	Factor B	D1 81.66	D1 118.66	D1 87.00	D1 9.07	D1 2.93	D3 327.50 a	D1 6813.33	D1 2453.33
		D2 81.25	D2 118.25	D2 87.30	D2 8.85	D2 3.01	D2 310.50 ab	D2 6762.50	D2 2304.16
		D3 81.33	D3 118.33	D3 86.54	D3 8.70	D3 2.91	D1 282.16 b	D3 7126.66	D3 2408.33

que influye considerablemente en la duración de todas las etapas ontogénicas del cultivo, desde la emergencia hasta la madurez fisiológica. Así, temperaturas más cálidas acelerarán la tasa de desarrollo del cultivo y promoverán, por ejemplo, una floración más temprana comparada con la ocurrencia de temperaturas frescas tal es el caso de L2, donde el cultivo inicio sus etapas con bajas

temperaturas, lo contrario a L1. En ambas localidades la V3 fue más tardía.

Días a madurez fisiológica (DMF)

Se encontró diferencia significativa para el factor A en ambas localidades (Cuadro 2). No se encontró diferencia significativa para el Factor B, ni para las interacciones



(AxB). La V2 fue la más precoz en las dos localidades con medias de 101.0 y 117.2 DMF, respectivamente. En un estudio realizado por Velasco *et al.* (2012), la variedad de trigo harinero Tacupeto F2001 posee una media aritmética de 123.75 DMF. Villaseñor *et al.* (2012) mencionan que la variedad Norteña F2007 con adaptabilidad para siembras de riego en la región norte y el Bajío de México tiene un promedio de 130 DMF. En comparación con el presente estudio, las tres variedades en las dos localidades tuvieron un rango menor de DMF, alcanzando esta etapa en menor cantidad de días, lo cual es importante en la caracterización de las variedades, así como en el manejo específico en ambientes particulares.

Altura de planta (AP)

En el Cuadro 2 se observa que en L1 no se encontró diferencia significativa en ningún factor; en L2 se encontró diferencia significativa en el efecto simple de variedad, siendo V1 y V2 similares en esta característica, encontrándose dentro del rango de lo reportado para la variedad de trigo harinero Roelfs F2007 que oscila entre 90 a 115 cm (Figueroa-López *et al.*, 2011). V1 y V2 en ambas localidades expresan con más estabilidad esta característica mientras que V3 expresa este rasgo con diferencias entre localidades, siendo siempre la de menor porte. Estos resultados concuerdan con Hussain *et al.*

(2001) quienes informaron que la densidad de siembra en su estudio no tuvo un efecto significativo en la altura de la planta.

Longitud de espiga (LE)

Se encontró diferencia significativa para el factor A, solamente en la Localidad 1 (Cuadro 2). No se encontró diferencia significativa para el Factor B, ni para las



interacciones (AxB), en ninguno de los casos.

Figura 5. Longitudes de espiga de las tres variedades bajo estudio en dos ambientes (L1 y L2, respectivamente).

La descripción de las variedades San Isidro NL M2012 y Floreña NL M2012 realizada por el Ph. D. Ciro G. S. Valdés Lozano en el 2012, mejorador de estas y quien las registró en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS), incluye que la LE promedio es de 7.5 y 9.5 cm respectivamente. Naveed *et al.* (2014) incluyen en su estudio que las espigas de mayor longitud fueron resultado de la utilización de la densidad de siembra más baja (100 kg ha⁻¹) posiblemente debido a la disponibilidad óptima de nutrientes que permitieron a las plantas llevar a cabo efectivamente la fotosíntesis y, por lo tanto, se produjo una mayor asimilación que finalmente aumentó la longitud de las espigas.

Número de macollos por planta (tallos secundarios o hijuelos) (NMP)



No se encontró diferencia significativa para ninguno de los factores en las dos localidades. Ajmal *et al.* (2009) mencionaron que esta característica junto con el número de granos por espiga y el rendimiento de grano por planta muestran una alta heredabilidad, lo que indica la posibilidad de una selección efectiva de estos rasgos para mejorar el rendimiento de grano en estudios posteriores. En ambas localidades, V2 tuvo una mayor cantidad de tallos secundarios.

Número de tallos por m² (NTM₂)

En L1 no se encontró diferencia significativa para ninguno de los factores; en L2 el caso fue diferente, pues se encontró diferencia significativa en el factor B, resultando estadísticamente iguales las medias de la D2 (310.5) y D3 (327.5) (120 y 160 kg de semilla ha⁻¹, respectivamente). Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Naveed *et al.* (2014) quienes demostraron que el número de tallos por m² se vio significativamente afectado ($p < 0.05$) por distintas densidades de siembra, siendo la densidad más alta (en su caso, 220 kg ha⁻¹) en donde el número de tallos por m² (287.3) fue mayor en comparación con densidades más bajas. Es importante conocer este dato, pues el conjunto de tallos tiene un relevante papel en la compensación de la diferencia en el número de plantas, lo que puede permitir una recuperación del cultivo en caso de una helada temprana (Acevedo *et al.*, 1998). En el presente estudio, V1 obtuvo el mayor número de tallos por m² en las dos localidades.

Rendimiento de forraje seco por hectárea (RFSH)

No se encontró diferencia significativa para ninguno de los factores en las dos localidades. Sin embargo, para el efecto

simple de densidad, los resultados muestran la tendencia de que en L1, con la D2 se obtuvo mayor rendimiento de forraje por hectárea. Lozano *et al.* (2002) atribuyen este comportamiento a una mayor respuesta productiva a bajas y medianas densidades de siembra, debido a que este factor influye en la competencia entre plantas, provocando que su tamaño y principalmente su peso disminuya conforme aumenta el número de plantas, reduciendo el rendimiento. En L2 se observa la tendencia de obtener mayor producción de materia seca con la utilización de la densidad de siembra más alta, similar a lo reportado por Naveed *et al.* (2014). Darapuneni *et al.* (2016) también encontraron que las distintas densidades de siembra no influyeron en el rendimiento de forraje seco, recomendando incluso densidades bajas a medias sin comprometer el potencial de rendimiento de materia seca.

Rendimiento de grano por hectárea (RGH)

Únicamente se encontró diferencia significativa para el factor B, en la Localidad 1 (Cuadro 2), lo que indica que se puede obtener un rendimiento de grano similar con la utilización de densidades de siembra bajas a medias (80 a 120 kg ha⁻¹), incluso en L2 a pesar de no haber diferencia significativa para esta variable, las medias muestran que el mayor rendimiento de grano obtenido fue con la densidad más baja (D1). Beres *et al.* (2011) mencionaron que, en el cultivo de trigo, el rendimiento de grano resulta una curva de respuesta parabólica, que alcanza rápidamente un rendimiento máximo seguido de un descenso en altas densidades. Lo anterior contrasta con lo encontrado por Naveed *et al.* (2014), pues en su estudio, el aumento en la densidad de siembra fue proporcional al rendimiento de grano, obteniendo el máximo



rendimiento utilizando la densidad de siembra más alta.

Conclusiones

Tomando en cuenta que el rendimiento de grano es la variable agronómica de mayor importancia económica en el cultivo de trigo, los resultados del análisis estadístico sugieren que en L1 se obtuvieron los mayores rendimientos de grano y que esta variable si estuvo influenciada por la densidad de siembra, pudiendo elegir la densidad más baja y servir lo anterior como estrategia para disminuir el costo de producción por concepto de compra de semilla. Por otro lado, las variables agronómicas relacionadas con el ciclo de vida del cultivo y su morfología son características que en este caso no interaccionaron con la densidad de siembra. Asimismo, el presente estudio es un precedente de utilidad para la caracterización de las variedades en distintas zonas del estado y las recomendaciones de su manejo. En L1 la variedad San Isidro NL M2012 mostró una media de rendimiento de grano superior en comparación a las otras dos variedades bajo estudio; en L2, esto ocurrió con la variedad Conatrigo F2015, incluso a pesar de haber sido afectada por *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*. De esta forma se pueden identificar genotipos con el mejor uso de los recursos ambientales y ajustar una densidad de siembra que mejore la respuesta en el rendimiento, considerando siempre el ambiente donde el cultivo se desarrolle.

Agradecimientos

Al personal de la Facultad de Agronomía - UANL, Campus La Ascensión y Campus Marín, por el valioso apoyo tanto en el establecimiento del cultivo como en las actividades propias de su manejo.

A mi comité de tesis: Dr. José Elías Treviño Ramírez como director, al M.C. Jesús Andrés Pedroza Flores, al Dr. Juan F. Pissani Zuñiga y al M.C. Juan Martínez Medina como asesores, por brindarme en todo momento orientación y apoyo académico.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el recurso otorgado para el desarrollo de mis actividades académicas.

Referencias Bibliográficas

- Acevedo, E., H. Silva and P. Silva. (1998). Tendencias actuales de la investigación de la resistencia al estrés hídrico de las plantas cultivadas. Boletín Técnico Estación Experimental Agronómica, 49 : 1-28.
- Ajmal, S.U., N. Zakir and M.Y. Mujahid. (2009). Estimation of genetic parameters and character association in wheat. J. Agric. Biol. Sci., 1: 15–18.
- Beres, B.L., H.A. Carcamo, R.C. Yang, and D.M. Spaner. (2011). Integrating spring wheat sowing density with variety selection to manage wheat stem sawfly. Agronomy Journal 103(6), 1755–1764.
- Carestía, G., Escudero, L., Fraschina, J., Gómez, D. (2016). Efecto de la fecha de espigazón sobre el rendimiento y sus componentes en distintas especies de cereales invernales. Informe de actualización técnica en línea No. 7. pp: 34-38. INTA. Argentina.
- Darapuneni, M. K., Morgan, G. D., Shaffer, O. J., & Dodla, S. (2016). Impact of Planting Date and Seeding Rate on Forage and Grain Yields of Dual-Purpose Wheat in Central Texas. Crop, Forage & Turfgrass Management, 2(1).
- Divito, G. A. y García, F. O. (2017). Manual del cultivo de trigo. 1a ed. Acassuso:



- International Plant Nutrition Institute. 224 p.
- Figueroa-López, P., Fuentes-Dávila, G., Valenzuela-Herrera, V., Chávez-Villalba, G., Félix-Fuentes, J., y Mendoza-Lugo, J. (2011). Roelfs F2007, nueva variedad de trigo harinero para el noroeste de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 34(3), 221-223.
- Hussain, S., A. Sajjad, M.I. Hussain and M. Saleem. (2001). Growth and yield response of three wheat varieties to different seeding densities. *Int. J. Agric. Biol.* 1560-8530.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2017). Anuario Estadístico y Geográfico de Nuevo León. Recuperado de: http://www.datatur.sectur.gob.mx/ITX_EF_Docs/NL_ANUARIO_PDF.pdf
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED) (2009). Enciclopedia de los Municipios de México: Estado de Nuevo León: Marín. Recuperado de: <http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM19nuevoleon/municipios/19034a.html>
- Jones JM, Peña RJ, Korczak R, and Braun HJ. (2015). Carbohydrates, grains, and wheat in nutrition and health. An overview Part I. Role of carbohydrates in health. *Cereal Foods World* 60:224-233.
- Kabesh, M. O., M. F. El-kramany, G. A. Sary, H. M. El-Naggar and S. H. B. Gehan. (2009). Effects of sowing methods and some bio-organic fertilization treatments on yield and yield components of wheat. *Res. J. Agr. Biol. Sci.* 5, 97-102.
- Leal, J. (2012). Estudio climático de dos invernaderos en el estado de Nuevo León, México. *Ciencia UANL*, Año 15, No. 58, Abril – Junio.
- Lloveras, J., J. Manent, J. Viudas, A. Lopez, and P. Santiveri (2004). Seeding rate influence on yield and yield components of irrigated winter wheat in a Mediterranean climate. *Agronomy Journal* 96(5), 1258–1265.
- Lozano, A., Rodríguez, E., Díaz, J., Fuentes J., y Fernández, V. (2002). Producción de forraje y calidad nutritiva en mezclas de triticale (X Triticosecale Wittmack) y ballico anual (*Lolium multiflorum* L.) en Navidad, N.L. Resultados de la investigación 2001. UAAAN Buenavista Saltillo, Coahuila, México.
- Miralles, Daniel J. (2004). Consideraciones sobre ecofisiología y manejo de Trigo. Recuperado de http://rafaela.inta.gov.ar/info/miscelaneas/101/trigo2004_n1.pdf
- Naveed, K., M.A. Khan, M.S. Baloch, K. Ali, M.A. Nadim, E.A. Khan, S. Shah and M. Arif. (2014). Effect of different seeding rates on yield attributes of dual-purpose wheat. *Sarhad J. Agric.*, 30(1): 83-91.
- Olivares Sáenz, E. (2016). Paquete computacional de Diseños Experimentales Versión 1.7. México, s.p.
- Peña Bautista R.J., P. Pérez Herrera, E. Villaseñor Mir, M.M. Gómez Valdez, M.A. Mendoza Lozano y R. Monterde Gabilondo. (2007). Calidad de la cosecha de trigo en México: Ciclo otoño-invierno 2005-2006. Publicación especial del CONASIST. México. DF. 24 p.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2019). Expectativas Agroalimentarias: 2019. México. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/458242/Expectativas_Abril_2019_compressed.pdf
- Secretaría de Desarrollo Agropecuario de Nuevo León. (2020). Boletín Agropecuario: abril 2020. México.



Recuperado de:
[http://www.ni.gob.mx/publicaciones/
boletin-agropecuario-abril-2020](http://www.ni.gob.mx/publicaciones/boletin-agropecuario-abril-2020)

Servicio de Información Agroalimentaria y
Pesquera (SIAP) (2018). Atlas
Agroalimentario 2012-2018. México.
Recuperado

de:[https://nube.siap.gob.mx/gobmx_
publicaciones_siap/pag/2018/Atlas-
Agroalimentario-2018](https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2018/Atlas-Agroalimentario-2018)

Stubbs, R.W., J.M. Prescott, E.E. Saari y
H.J. Dubin. (1986). Manual de
metodología sobre las enfermedades
de los cereales. Centro Internacional
de Mejoramiento de Maíz y Trigo
(CIMMYT) México.

Velasco, J., Pérez, D., Rajaram, S.,
Balbuena, A., Albarrán, M., y
González, A. (2012). Análisis de 20
genotipos de trigo harinero en el
Valle del Yaqui, Sonora. Revista
mexicana de ciencias agrícolas, 3(8),
1521-1534.

Villaseñor, H.E., Huerta, J., Solís, E.,
Espitia, E., Ireta, J., y Galván, R.
(2012). Norteña F2007, nueva
variedad de trigo para siembras de
riego en la región norte y El Bajío de
México. Revista Mexicana de
Ciencias Agrícolas 3(1):207-2012.

Wiersma. J.J. (2002). Determining an
optimum seeding rate for spring
wheat in Northwest Minnesota. Crop
Management 18,1-7.



Diversidad de escarabajos en huertas de aguacate en Sabinas Hidalgo Nuevo León, México

Ian Humberto Quiroz-González¹; Adriana Gutiérrez-Díez¹; Armando Equihua-Martínez²; Alejandro Facundo Barrientos-Priego³; Humberto Quiroz-Martínez⁴; Francisco Zavala-García¹

¹Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Agronomía. Francisco Villa S/N Col. Ex Hacienda El Canadá, Gral. Escobedo, Nuevo León.

²Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco Km. 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México.

³Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de Fitotecnia. Carr. México–Texcoco Km 38.5, Texcoco, Estado de México.

⁴Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Biológicas. Ave. Pedro de Alba S/N. Ciudad Universitaria. San Nicolás de los Garza, Nuevo León.

E-mail: ianhumberto@hotmail.com

Resumen: Gran diversidad de escarabajos causa daños importantes e incluso la muerte total de árboles en el cultivo de aguacate. La vecindad de Nuevo León con Texas (EU), en donde se reporta la presencia de complejos ambrosiales causantes de pérdidas importantes al cultivo, hace necesario conocer la diversidad de escarabajos asociados a huertas de aguacate para determinar su presencia, la de complejos locales, así como la de plagas potenciales, como antecedente para conocer su dispersión y riesgo de contaminación cruzada. La investigación se realizó en huertas de aguacate en Sabinas Hidalgo, N.L. Utilizando trampas aéreas se obtuvieron 7,275 escarabajos, distribuidos en nueve familias, 17 géneros y 15 especies; *Caulophilus latinasus* fue la especie con mayor abundancia. Se detectó a *Xyleborus ferrugineus*, especie asociada al ataque de árboles de aguacate Hass. A partir de trozas de árboles muertos se obtuvieron 37 escarabajos, distribuidos en ocho familias, 11 géneros y dos especies. Predominaron especímenes de la familia Carabidae.

Palabras clave: Aguacate, escarabajos, diversidad, riqueza de especies.

Abstract: A wide diversity of beetles cause significant damage and even total death of tress in avocado crops. Due to Nuevo León's proximity to Texas where has been reported the presence of ambrosial complexes causing significant losses to the crop, is necessary to know the diversity of beetles associated with avocado orchards, to determine their presence, the presence of local ambrosial complexes and of the other potential pests, to know their dispersion and the risk of cross-contamination. This study was carried out in avocado orchards in Sabinas Hidalgo, N.L. Using aerial traps 7,275 beetles were collected, grouped in nine families, 17 genera and 15 species; *Caulophilus latinasus* was the species with the greatest abundance. *Xyleborus ferrugineus*, a species associated with damage to avocado Hass trees was detected. From died tress logs were obtained 37 beetles, grouped in eight families, 11 genera and two species. The specimens of the family Carabidae were predominated.

Keywords: Avocado, beetles, diversity, species richness.

Introducción

La producción de aguacate en México es de un millón 644 mil toneladas al año,

colocándolo en primer lugar a nivel mundial en producción de aguacate seguido de República Dominicana con 387 mil 546 toneladas por año (SENASICA, 2017).



La mayor producción de aguacate en México se encuentra concentrada en el estado de Michoacán, quien produce entre el 80 y el 85% del total, le siguen Jalisco y el Estado de México. A partir del 2011 el estado de Jalisco ha aumentado su producción, mientras que en ese año su producción aportó el 3.3% del total nacional, en 2016 aportó cerca del 10% (Del Moral y Murillo, 2016).

La producción de este cultivo es afectada por distintos factores ambientales (temperatura, tipo de suelo, humedad), mal manejo de prácticas culturales o de mantenimiento (podas, riegos, control de maleza), así como por factores bióticos como plagas que ocasionan daños al cultivo, y enfermedades en pre y poscosecha. Dentro de las plagas, tres grupos de insectos son responsables de daños ocasionados a los árboles de aguacate en México: picadores-chupadores, barrenadores de semillas y troncos, así como defoliadores (Baradona y Sancho, 2000).

Los insectos asociados al cultivo del aguacate en México varían dependiendo la región, considerando la gama de condiciones ecológicas y variedades nativas y mejoradas de aguacate que están presentes en el territorio mexicano, por lo que es de esperarse diferentes patrones de diversidad (Equihua-Martínez *et al.* 2007). Existe gran diversidad de escarabajos que atacan a los árboles de aguacate entre los que se encuentran descortezadores, barrenadores y escarabajos ambrosiales. Los escarabajos llegan a establecerse en las plantas con el fin de alimentarse, así como de reproducirse (Rodríguez-Rivas *et al.*, 2018). Además de dañar a los árboles de aguacate, pueden afectar a otras especies, arbustos e incluso malezas, provocándoles muerte parcial o total.

En nuestro país se encuentran reportadas diferentes especies de escarabajos plagas del aguacatero: *Heilipus lauri*, responsable del ataque directo al fruto y conocido como escarabajo barrenador grande de la semilla. *Conotrachelus persea* conocido comúnmente como barrenador pequeño de la semilla. *Copturus aguacate* conocido como barrenador de las ramas y como su nombre lo menciona afecta directamente a las ramas de los árboles de aguacate. *Copturomimus persea* también conocido como el barrenador del tronco. Se tienen registradas varias especies del género *Phyllophaga* sp., las cuales atacan directamente a la raíz (GIII A, 2013). En el municipio de Aramberri, N.L., se ha registrado la presencia de escarabajos de las familias Coccinelidae, Chrysomelidae y Curculionidae (Lozano-Gutiérrez *et al.*, 2015).

Dos especies de coleópteros, *Xyleborus glabratus* y *Euwallacea kuroshio*, son plagas cuarentenarias que ponen en riesgo la producción de aguacate debido al ataque a los árboles que les provoca la muerte. Estos escarabajos pertenecen a la subfamilia Scolytinae, la mayoría de las especies de esta subfamilia son consideradas de importancia por el impacto potencial que pueden tener en áreas forestales y agrícolas, ya que están asociadas con el ataque a árboles enfermos, así como con la descomposición de árboles muertos. *X. glabratus* y *E. kuroshio*, conocidos como escarabajos ambrosiales, se caracterizan por su asociación simbiótica y nutricional obligada con diversas especies de hongos, los cuales son cultivados en las paredes de las galerías que hacen en el xilema de los árboles hospederos (Carrillo *et al.*, 2014; Hughes *et al.*, 2015).

Nuevo León cuenta con 692 ha sembradas de aguacate (SIAP, 2020). Los municipios que producen aguacate al norte del estado de Nuevo León son Sabinas Hidalgo y



Bustamante, mientras que en la Región Centro corresponden a Santiago, Allende, Rayones, Montemorelos, General Terán, Linares y Hualahuises. En el Sur se encuentran los municipios de Arramberri y General Zaragoza. En Sabinas Hidalgo se reportan diferentes variedades de aguacate raza mexicana: Anita, Pepe, Floreño, Blanquita, Fosa, Cuervo, Pera, Verde Pérez, Sabroso, Chapeño, Rodríguez, Pecos, Pila Salazareño; mientras que en Bustamante se encuentran variedades como Negro Santos, Especial (Acosta *et al.*, 2013).

La ubicación fronteriza de Nuevo León con el estado de Texas (Estados Unidos) en donde se reporta la presencia de complejos ambrosiales, así como la presencia de especies forestales de la familia Lauraceae potenciales hospederos de complejos ambrosiales, y el hecho de que la presencia de los complejos ambrosiales *Xyleborus glabratus-Raffaelea lauricola* y *Euwallacea kuroshio-Fusarium* representan un alto riesgo fitosanitario y económico para la industria aguacatera de México, hacen necesario contar con información acerca de la diversidad de escarabajos en huertas de aguacate, que permita determinar la presencia de estos complejos así como de complejos locales, con la finalidad de conocer su dispersión y diseñar estrategias de control debido a la posibilidad de contaminación cruzada.

El objetivo general de esta investigación es generar conocimiento acerca de escarabajos asociados a huertas de aguacate en el municipio de Sabinas Hidalgo, Nuevo León. Para cumplir con el objetivo, se formularon los siguientes objetivos específicos: 1) Determinar la diversidad de escarabajos asociados al aguacate en huertas del municipio de Sabinas Hidalgo, Nuevo León, 2) Determinar con base a daños en árboles muestreados la presencia de complejos de

escarabajos en huertas del municipio de Sabinas Hidalgo, Nuevo León.

Materiales y Métodos

El trabajo fue realizado en tres huertas de aguacate criollo (*Persea americana* var. *drymifolia*) en el municipio de Sabinas Hidalgo ubicado al norte del estado de Nuevo León. La identificación de las huertas y su ubicación geográfica es la siguiente: Huerta El Pedregal (H1), ubicada en latitud N 26° 29.875', longitud W 100° 11'; Huerta El Gallo de Oro (H2), localizada en latitud N 26° 30.097' y altitud W 100° 11.792'; Huerta Rancho Daberat (H3) que se encuentra en latitud N 26° 29.247' y altitud W 100° 10.676'.

Para las recolecta de escarabajos se colocaron diez trampas aéreas por huerta, distribuidas al azar y fijadas a una altura de 1.5 m sobre el nivel del suelo. En cada una de las trampas se colocaron tubos de polipropileno de 50 ml con etanol absoluto como cebador y como agente conservador de los escarabajos se utilizó anticongelante (propilenglicol). El material colectado se transportó al Laboratorio de Entomología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León para su identificación taxonómica correspondiente utilizando las claves taxonómicas de Wood (1982), Arnett Jr. *et al.* (1980), Triplehorn y Johnson (2005), Gorham (1987), Wood y Bright (1992). La recolecta de insectos se llevó a cabo cada 15 días durante el periodo comprendido del 18 de agosto de 2018 al 30 de noviembre de 2019, se realizaron un total de 29 monitoreos.

Con los datos de la identificación taxonómica de especies, se generó una base de datos en Excell, utilizada para la determinación de los índices de diversidad, abundancia y riqueza de especies, por



medio de los índices de Shannon-Wiener, Margaleff y Simpson.

Con la finalidad de detectar complejos de escarabajos en árboles de aguacate, trozas de 4-15 cm de diámetro y 60 cm de largo, de troncos y ramas de árboles con síntomas de marchitez, muerte regresiva y perforaciones, fueron colectadas de la H3 y trasladadas al Laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Agronomía para ser colocadas en cámaras de emergencia construidas con contenedores de plástico color negro y tapa de cierre hermético, de acuerdo con lo propuesto por Carrillo *et al.* (2012). Las condiciones de humedad se mantuvieron a través de la colocación de toallas de papel humedecidas con agua. El muestreo de insectos se realizó cada cinco días manteniéndolos en frascos con alcohol al 70% para su posterior identificación a través de las claves taxonómicas ya mencionadas. Las trozas colectadas fueron mantenidas en cuarentena para su posterior incineración.

Resultados y Discusión

Se obtuvieron un total de 7,275 escarabajos, los cuales se distribuyeron en nueve familias, 17 géneros y 15 especies (Cuadro 1).

Cuadro 1. Ejemplares de escarabajos identificados en tres huertas de aguacate criollo de Sabinas Hidalgo, Nuevo León, México.

Familia	Género/especie	H1	H2	H3	Total
Elateridae	<i>Agriotes pubescens</i>	39	23	29	91
Bostrichidae	<i>Amphicerus cornotus</i>	21	10	47	78
Bostrichidae	<i>Amphicerus simplex</i>	12	24	57	93
Coccinellidae	<i>Anatis sp.</i>	0	0	3	3
Curculionidae	<i>Caulophilus latinasus</i>	42	5252	1190	6484
Scarabaeidae	<i>Cetonia aurata</i>	8	0	6	14
Curculionidae	<i>Corthylus flagellifer</i>	0	0	1	1
Curculionidae	<i>Corthylus petilus</i>	0	1	0	1
Scarabaeidae	<i>Cotinis mutabilis</i>	7	2	5	14
Dermestidae	<i>Dermestes sp.</i>	11	14	16	41
Cerambycidae	<i>Elaphidionoides villosus</i>	1	0	0	1
Curculionidae	<i>Euplatypus sp.</i>	0	1	3	4
Curculionidae	<i>Hylocurus medius</i>	0	14	81	95
Curculionidae	<i>Hypothenemus rotundicollis</i>	0	12	6	18
Curculionidae	<i>Hypothenemus seriatus</i>	4	210	41	255
Elateridae	<i>Limonium sp.</i>	1	25	5	31
Attelabidae	<i>Rhynchites sp.</i>	0	1	2	3
Bostrichidae	<i>Xylobiops parilis</i>	0	6	26	32
Nitidulidae	<i>Stelidota geminata</i>	0	3	0	3
Curculionidae	<i>Xyleborus ferrugineus</i>	1	10	2	13
Total		147	5608	1520	7275

La diversidad, riqueza y dominancia de especies obtenidos a través de los índices ya mencionados se encuentran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Valores de índices de diversidad, riqueza y dominancia en cada una de las huertas muestreadas.

Índices	H1	H2	H3
Shannon-Wiener	1.89	0.33	0.99
Margaleff	2.00	1.73	2.18
Simpson	0.80	0.12	0.38

De acuerdo con los valores del índice de Shannon-Wiener, H1 obtuvo el valor más alto, sin embargo, se esperaría que el índice más alto correspondiera a H2 si se considera el total de ejemplares colectados (Cuadro 1). Magurran (1988) menciona que este índice expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies, asume que los individuos son seleccionados al azar y que todas las especies se encuentran representadas en la muestra, por lo que considerando que los valores de H2 no presentaron uniformidad, la diversidad de la huerta es poca.



De acuerdo con el índice de Margalef, H3 presentó mayor riqueza seguida de H1 y H2. En este índice se transforma el número de especies por muestra a una proporción a la cual las especies son añadidas por expansión de la muestra, supone que hay una relación funcional entre el número de especies y el número total de individuos, si esto no se mantiene, entonces el índice varía con el tamaño de muestra de forma desconocida (Magurran, 1988).

El índice de Simpson mide la dominancia de organismos permitiendo medir su riqueza, es utilizado para cuantificar la biodiversidad de un hábitat. Toma un determinado número de especies que se encuentran presentes en el hábitat y su abundancia relativa, a medida que el índice se incrementa la diversidad decrece por lo que entre más aumente el valor a 1 la diversidad disminuye (Pielou, 1969). De acuerdo con lo anterior y con los resultados obtenidos H2 fue la huerta que presentó más riqueza de organismos mientras que H1 presentó menor diversidad.

Con respecto a las especies de escarabajos obtenidas en el muestreo de las huertas, *Caulophilus latinasus* fue la especie más abundante encontrándose en las tres huertas muestreadas y con mayor abundancia en H2. *C. latinasus* afecta a las semillas de aguacate, así como a las de maíz, garbanzo, jengibre y camote, además provoca daños en granos que ya han sido afectados por otros escarabajos (Plantwise, 2017). En H2 era común en época de cosecha, encontrar frutos caídos, aunado a que los frutos que no cumplían con los estándares para venta eran dejados en el suelo, por lo que esta puede ser la explicación de la abundancia de esta especie en la huerta.

La segunda especie con mayor presencia fue *Hypothenemus seriatus* con un total de 255 ejemplares. *Hypothenemus* sp. es

considerado plaga secundaria y está catalogado como descortezador o barrenador (Peña *et al.*, 2012). Méndez (2019) menciona que *H. seriatus* es nativa de México, de importancia forestal menor pero no se encuentra catalogada como plaga cuarentenaria. La presencia de esta especie en las tres huertas se debió principalmente a la vegetación que se encuentra alrededor de las huertas, así como los mismos árboles de aguacate ya que de acuerdo con Wood (1982), este género se caracteriza por atacar a ramas pequeñas y ramas cortadas de árboles, así como a arbustos, lianas, enredaderas, malezas y otro tipo de material vegetal.

Las especies *Amphicerus cornotus* así como *A. simplex* pertenecientes a la familia Bostrichidae, tuvieron registros de 78 y 93 ejemplares respectivamente. Las especies de esta familia son catalogadas como xilófagas en estado adulto, así como en larva. Juárez *et al.* (2016) mencionan que las larvas barrenan la parte interior de tronco formando galerías profundas que van hasta la parte superficial, produciendo debilitamiento del tronco; los adultos descortezan la parte superficial ocasionando su desprendimiento y provocando la vulnerabilidad del árbol ante la llegada de otros agentes perjudiciales.

A la fecha no se han encontrado reportes de asociación entre esta especie y el ataque a árboles de aguacate. Las especies de *Amphicerus* atacan a plantas como mezquite, vid, roble, árboles de granada y nogal, enfocándose principalmente en madera muerta o moribunda (Ward, 1977). Una característica de H3 fue la presencia de árboles muertos de aguacate, así como la presencia de otras especies de plantas dentro de la huerta como granados, cítricos y olivo entre otros, por lo que presumiblemente esta condición favoreció la presencia de estos escarabajos.



Hylocurus medius, otra de las especies con presencia en esta investigación (95 ejemplares), es conocida porque se alimenta directamente de la madera, pero no de la corteza interna, es común encontrar a especies de este género en ramas (Atkinson, 2009). Por el momento no existe información precisa sobre las especies vegetales que ataca, pero de acuerdo a Wood (1982), las especies de este género son xilófagas, estos ejemplares pueden encontrarse en troncos poco productivos, heridos, recién cortados o totalmente muertos.

Trece ejemplares de *Xyleborus ferrugineus* fueron obtenidos, la mayor cantidad fueron colectados en H2 (77%); de acuerdo con Pérez *et al.* (2015) esta especie se encuentra reportada para 21 estados de la República Mexicana. Ángel-Restrepo *et al.* (2019) reportan a esta especie de escarabajo atacando a árboles vivos en zonas productoras de aguacate Hass en Michoacán. Aún no existen registros del ataque de *X. ferrugineus* a variedades de raza Mexicana.

En lo que se refiere a los escarabajos obtenidos de las trozas (Cuadro 3), fueron obtenidos un total de total de 37 escarabajos en donde estos se distribuyeron en ocho familias 11 géneros y dos especies. Los ejemplares de la familia Carabidae se presentaron en mayor cantidad. Las larvas, así como los adultos de estos escarabajos son polífagos, incluso son enemigos naturales de numerosas plagas de cultivos como áfidos y larvas de lepidópteros. Estos escarabajos son muy sensibles a cambios en los agroecosistemas por lo que son buen bioindicador de calidad de hábitats; pueden verse afectados por el uso de plaguicidas, cambios en las prácticas agronómicas y el clima (Holland y Luff, 2000). Se asume que la condición de muerte de árboles de aguacate en H3 propició la presencia de

estos escarabajos, la muerte progresiva de los ejemplares de *Persea* favoreció un cambio en el hábitat de la huerta. De los ejemplares de esta familia no fue posible la identificación de género ya que las características presentadas no facilitaron su avance.

Dos ejemplares de *Deloyala* sp. fueron colectados de las trozas, este género fue reportado por Lozano *et al.* (2015) en huertas de aguacate raza Mexicana en Arramberri, N.L. Estos escarabajos de la sub familia Cassidinae se caracterizan porque tanto las larvas como los adultos son exclusivamente fitófagos, y se encuentran relacionados con diversas familias de plantas (Borowiec y Świętojańska, 2014; Chaboo, 2007).

Cuadro 3. Ejemplares de escarabajos identificados en trozas de madera de aguacate de H3, en Sabinas Hidalgo, Nuevo León, México.

Familia	Género/especie	Total
Atelabidae	<i>Rhynchites</i> sp.	2
Bostrichidae	<i>Polycaon</i> sp	2
Bostrichidae	<i>Amphicerus simplex</i>	1
Cantharidae	<i>Padabrus</i> sp.	1
Cantharidae	<i>Trypherus</i> sp.	1
Carabidae	(NO DETERMINADO)	13
Carabidae	<i>Calosoma</i> sp.	1
Cerambycidae	<i>Aegoschema</i> sp.	1
Cerambycidae	<i>Aegoschema</i> sp.	1
Chrysomelidae	<i>Deloyala</i> sp.	2
Cerambycidae	<i>Eburia</i> sp.	3
Cleridae	<i>Cregya</i> sp.	1
Curculionidae	<i>Hypothenemus rotundicollis</i>	1
Larvas de Cerambycidae	(NO DETERMINADO)	7
Total		37

Finalmente, *Eburia* sp. (familia Cerambycidae), se caracteriza porque la mayoría de sus especies se alimentan de tejidos sólidos de plantas muertas o agonizantes, algunos se encuentran en árboles o arbustos vivos, y algunos otros en madera podrida; estos escarabajos consumen raíces, troncos, ramas, semillas, frutos o tallos herbáceos. Se encuentran



relacionados con el proceso de degradación de la madera (Gutiérrez y Noguera, 2017). Se asume que su presencia en las trozas es debido al proceso propio de degradación de la madera.

Conclusiones

Las huertas muestreadas presentaron diferentes índices de diversidad. Las especies predominantes reportadas corresponden a escarabajos que dañan semilla y madera. En las huertas de aguacate muestreadas no hay presencia de los escarabajos ambrosiales *X. glabratus* y *Euwallaceae* sp. *Xyleborus ferrugineus* asociado a daño en aguacate Hass, se encuentra presente en las huertas muestreadas sin embargo no hay evidencia de daño a los árboles de aguacate de raza Mexicana.

Agradecimientos.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el otorgamiento de la beca para los estudios de Maestría en Ciencias en Producción Agrícola, así como a los productores cooperantes por permitirnos el acceso a sus huertas y por la información compartida.

Referencias Bibliográficas

- Acosta, E., Almeyda, I. H., & Hernández Torres, I. (2013) Evaluación de aguacates criollos en Nuevo León, México: región norte. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4 (4), 531-541.
- Ángel-Restrepo, M., Ochoa-Ascencio, S., Fernández-Pavía, S., Vázquez-Marrufo, G., Equihua-Martínez, A., Barrientos-Priego, A. F., Correa-Suarez, M. & Saucedo-Carabez, J. R. (2019) Identificación de escarabajos ambrosiales (Coleópteros: Curculionidae) asociados a árboles de aguacate en Michoacán, México. *Folia Entomológica Mexicana*, 5(2), 80-88.
- Arnett Jr.R., Downie N., Jaques, H. (1980) How to know the beetles. Second Edition. The Picture Key Nature Series. Dubuque, Iowa. Wm. C. Brown Company Publishers.
- Atkinson, T. (2009) Bark and Ambrosia Beetles. The Bark and Ambrosia Beetles. <https://www.barkbeetles.info/index.php>. Consultado el 13 de Abril de 2019,
- Baradona, M. & Sancho, E. (2000) Mango y Aguacate. *Fruticultura Especial 2*. San José, Costa Rica. EUNED.
- Borowiec, L. & Świętojańska, J. (2014) Cassidinae Gyllenhal, 1813. En R. A. B. Leschen & R. G. Beutel (Eds.), *Handbook of zoology, Arthropoda, Insecta, Coleoptera, Beetles*. Vol. 3 (pp. 198–217). Berlin, New York, New York: Walter de Gruyter.
- Carrillo, D., Duncan, R. & Peña, J. (2012) Ambrosia beetles (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) that breed in avocado wood in Florida. *Florida Entomologist*, 95(3), 573-579.
- Carrillo, D., Duncan, R.E., Ploetz, J., Campbell, A., Ploetz, R. & Peña, J. (2014) Lateral transfer of a phytopathogenic symbiont among native and exotic ambrosia beetles. *Plant Pathology*, 63(1), 54-62.
- Chaboo, C.S. (2007) Biology and phylogeny of the Cassidinae Gyllenhal sensu lato (tortoise and leaf-mining beetles) (Coleoptera: Chrysomelidae). *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 305, 1–250.
- Del Moral, L. & Murillo, B. (2016) Producción y precio del aguacate, 2011-2016. *Economía Actual*, Facultad de Economía. UAEMx. 9(4):3-7.
- Equihua-Martínez, A., Estrada-Venegas, E. & González-Hernández, H. (2007). Plagas del Aguacate. pp. 133-169. En: Téliz, D. y A. Mora (eds.). *El Aguacate*



- y su Manejo Integrado. México, D.F. Ed. Mundi-Prensa.
- GIHA (2013) El Aguacate en Michoacán: Plagas y Enfermedades. Grupo Interdisciplinario e Interinstitucional de Investigación en Aguacate Morelia, Ed. Morevallado.
- Gorham, J. (1987) Insect and Mite Pests in Food: An Illustrated Key. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook Number 655, Maryland.
- Gutiérrez, N. & Noguera, F. (2017) Cerambycidae. Foundations of Forest Entomology. Universidad de Chapingo, México.
- Holland, J. & Luff, M. (2000) The effects of agricultural practices on Carabidae in temperate agroecosystems. *Integrated Pest Management Reviews*, 5, 109-129.
- Hughes, M., Smith, J., Ploetz, R., Kendra, P., Mayfield, A., Hanula, J., Hulcr, L., Stelinski, S., Cameron, J., Riggins, D. & Carrillo, D. (2015) Recovery plan for laurel wilt on redbay and other forest species caused by *Raffaelea lauricola* and disseminated by *Xyleborus glabratus*. *Plant Health Progress*, 16(4), 173-210.
- Juárez, N., Grados Q. & Cruz, A. (2016) Insectos asociados a *Prosopis pallida* (Humb.&Bonpl.ex.Wild.) en el campus de la Universidad de Piura, Perú. *Zonas áridas*, 16(1), 28-51.
- Lozano-Gutiérrez, J., España-Luna, M. P., Balleza-Cadengo, J. & Liñán-Quiroz, M. (2015) Biodiversidad de coleópteros en árboles de aguacate de Arramberri, Nuevo León, México. *Entomología Mexicana*, 2, 392-396.
- Magurran, A. (1988) Ecological diversity and its measurement. New Jersey, Princeton University Press.
- Mendéz, J., Campos R., García, S. & Ángeles, L. (2019) Informe intermedio de las trampas entomológicas (cinco en cada punto de ingreso): Puerto de Tampico, Tamaulipas; Puerto de Veracruz, Veracruz; Puerto de Manzanillo, Colima; Aduana de Ferrovalle, Ciudad de México y el Puerto de Lázaro Cárdenas, Michoacán. México Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/Invasoras/gef/pdf/1.2-13-Monitoreo_puertos_Informe%20intermedio.pdf Fecha de consulta 03/Noviembre/2019
- Peña, J., Hoddle, M., Aluja, M. Palevskye, E., Ripa, R. & Wysoki, M. (2012). Insect and Mite Pests. In B. Schaffer & W.B. Nigel, A.W. (Eds). *The Avocado: botany, production and uses*. Wallingford: CABI.
- Pérez, M., Equihua, A., Estrada, E., Muñoz, A., Valdez, J. & Sanchez, J. (2015) Sinopsis de especies mexicanas del género *Xyleborus* Eichhoff, 1864 (Coleoptera: Scolytinae). *Acta Zoológica Mexicana*, 239-250
- Pielou, E. C. (1969) *An Introduction to Mathematical Ecology*. New York: Wiley Interscience.
- Plantwise. (2017) Plantwise technical factsheet: *Caulophilus oryzae*. <http://www.plantwise.org/KnowledgeBank/Datasheet.aspx?dsid=11635> Fecha de consulta 03/Noviembre/2019.
- Rodríguez-Rivaz, A., Díaz-Ramos, S. A., Barrientos-Ramírez, L., Escoto-García, T. & Equihua-Martínez, A. (2018) Registro de escarabajos descortezadores (Curculionidae: Scolytinae) en el bosque La Primavera Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(48), 135-149.
- SENASICA. (2017) México: Primer productor mundial de aguacate. <https://www.gob.mx/senasica/articulos/mexico-primer-productor-mundial-de-aguacate?idiom=es> Fecha de consulta 21/Septiembre/2018.



- SIAP (2020) Resumen nacional por estado, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do o Fecha de consulta 20/Abril/2020.
- Triplehorn C. & Johnson, N. (2005) Borror and DeLong's Introduction to the study of insects. 7th Edition Thompson, United States. Brooks Cole.
- Ward, C., O'Brien, C., O'Brien, L., Foster, M.E. & Huddleston, E.W. (1977) Annotated Checklist of New World Insects Associated with *Prosopis*. USDA, ARS. Tech. Bull. No. 1557, 115 pp.
- Wood, S. & Bright, D. (1992) A catalog of Scolytidae and Platypodidae (Coleoptera), Part 2: Taxonomic index. Great Basin Naturalist Memoirs 13, 1–1553.
- Wood, S. (1982) The Bark and Ambrosia Beetles of North and Central America (Coleoptera: Scolytidae), a Taxonomic Monograph. The Great Basin Naturalist Memoirs, 6, 1-1359.



Efecto de la fertilización orgánica y química en la concentración nutrimental del tejido foliar de tomate saladette

Nadia Azeneth Rodríguez-Esquivel¹; Emilio Olivares-Sáenz¹; Rigoberto E. Vázquez-Alvarado¹; Roberto Carranza-de la Rosa¹; Edgar V. Gutiérrez-Castorena¹

¹Facultad de Agronomía-Universidad Autónoma de Nuevo León. Francisco Villa S/N col. Ex Hacienda el Canadá, Gral. Escobedo, N.L. Email: azeneth_1216@hotmail.com

Resumen: La fertilización es uno de los insumos de mayor costo en la producción de tomate. El objetivo del presente trabajo es evaluar la concentración de contenido mineral presente en el tejido foliar del tomate; para ello se utilizaron cuatro tipos de fertilización y un testigo absoluto: Té de vermicompost + (18-18-18; N - P₂O₅ - K₂O; 1 g L⁻¹), Lixiviado de vermicompost +(18-18-18; N - P₂O₅ - K₂O; 1 g L⁻¹), Ácidos húmicos de Leonardita + (18-18-18; N - P₂O₅ - K₂O; 1 g L⁻¹) y Testigo químico (18-18-18;N - P₂O₅ - K₂O; 1 g L⁻¹). Los resultados mostraron que los tratamientos a base de vermicompost son superiores en Ca y Mg, así mismo los Ac. Húmicos son más ricos en N, mientras que en P y K no se presentaron diferencias significativas, por lo tanto con fertilización orgánica es posible reducir el uso de fertilizantes sintéticos.

Palabras Clave: fertilizantes, Leonardita, Lixiviado, vermicomposta.

Abstract: Fertilization is one of the highest cost inputs in tomato production. The objective of this work is to evaluate the concentration of mineral concentration in tomato leaf tissue; Four types of fertilization and an absolute control were used: Vermicompost tea + (18-18-18; N - P₂O₅ - K₂O; 1 g L⁻¹), Vermicompost leachate + (18-18-18; N - P₂O₅ - K₂O; 1 g L⁻¹), Leonardite Humic Acids + (18-18-18; N - P₂O₅ - K₂O; 1 g L⁻¹) and Chemical Control (18-18-18; N - P₂O₅ - K₂O ; 1 g L⁻¹). The results showed that the vermicompost based treatments were superior in Ca and Mg, as well as Humic Acid was richer in N, while concentrations of P and K were not affected for tratments; therefore organic fertilization can reduce the use of synthetic fertilizers.

Keywords: Fertilizers, Leonardite, Leachate, vermicompost.

Introducción

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) pertenece a la familia Solanaceae, es una planta herbácea anual o bianual, de origen centro y sudamericano (Rodríguez-Rodríguez, 1996), es la hortaliza de mayor consumo tanto a nivel nacional como mundial. El principal productor y consumidor de esta hortaliza es China, mientras que Estados Unidos es el mayor

importador, ubicándose México como el país número uno en cuanto a exportaciones de tomate (FIRA 2017).

A nivel mundial se sabe que el 54.5 por ciento de la superficie cosechada de tomate en 2014 se concentró en cuatro países: China (19.8 por ciento), India (18.8 por ciento), Nigeria (10.8 por ciento) y Turquía (6.4 por ciento). México ocupa el décimo puesto a nivel mundial, con el 1.9



por ciento de la superficie cosechada de esta hortaliza. A nivel nacional la producción de tomate Saladette se concentra principalmente en cinco estados: Sinaloa (25.1 por ciento de la producción nacional de esta variedad en 2016), San Luis Potosí (11.0 por ciento), Michoacán (8.9 por ciento), Zacatecas (6.8 por ciento) y Morelos (4.6 por ciento del volumen nacional de este tipo de tomate). La producción en campo abierto, durante el año agrícola 2016 representó el 45.9 por ciento; en esta modalidad los principales estados productores son: Sinaloa, Michoacán y Zacatecas. En tanto, la producción en agricultura protegida (invernaderos y malla sombra) representó el 54.1 por ciento. Los principales estados productores de tomate Saladette en condiciones de agricultura protegida son Sinaloa, San Luis Potosí, Puebla, Coahuila y Morelos. Cabe mencionar que el tomate rojo es la principal hortaliza producida en México con agricultura protegida, desde el 2006, el volumen de tomate obtenido en condiciones de agricultura protegida ha aumentado, ya que pasó de 135,533 toneladas en 2006 a 733,178 toneladas en 2010 y a 2.034 millones de toneladas en 2016. Por otra parte, el consumo per cápita anual de tomate en México se ubica en alrededor de 15 kilogramos por año (FIRA 2017).

Una gran parte de los costos de producción se relacionan con la adquisición y posterior aplicación de insumos, entre ellos los agroquímicos, de los cuales se ha incrementado la importación en los últimos años (ANACOFER, 2016), además de aumentar los costos de producción, los agroquímicos causan grandes disturbios al medio ambiente.

El uso desmedido de productos químicos ha provocado la contaminación de suelos y aguas, por lo que es importante reducir la aplicación de fertilizantes químicos, lo que se puede lograr aplicando algunos

materiales orgánicos para mejorar la fertilidad del suelo, resultando en un menor daño al ambiente.

Los fertilizantes orgánicos ejercen un efecto multifactorial en las propiedades agronómicas de los suelos y, al ser utilizados éstos de manera correcta, incrementan de manera importante el rendimiento de los cultivos agrícolas.

Dentro de esta categoría entran los abonos orgánicos los cuáles son producidos a base de materiales de origen animal o vegetal. Es por ello que una gran cantidad de estos materiales orgánicos pueden ser utilizados como suministro de nutrientes a las plantas; para la obtención de los mismos se utilizan generalmente desechos o subproductos de la actividad pecuaria, (Salgado-García *et al.*, 2012).

Por estas razones, se justifica la evaluación de alternativas naturales, como lo son residuos de cosecha, estiércol, abonos verdes, vermicompost y lixiviados para aumentar el rendimiento de los cultivos, así como incrementar los niveles de materia orgánica en el suelo (Vázquez *et al.*, 2015). Estos materiales representan una alternativa viable y ecológica para satisfacer la demanda nutrimental de los cultivos y disminuir el uso de fertilizantes químicos.

En un estudio realizado por Ochoa-Martínez *et al.* (2009), se menciona que el té de compost aporta nutrientes que el cultivo de tomate requiere cuando se siembra bajo condiciones de invernadero además de que se pudieron producir hasta 18 kg·m⁻² de frutos de tamaño extra grande, lo que permitió un gasto menor en insumos para la fertilización.

Así también Goswami *et al.* (2017) realizó un estudio en tomate y col, en el cuál se utilizó compost y vermicompost como fertilizantes, dando como resultado un incremento en el tamaño de ambos frutos, en el caso particular del tomate, se presentó un aumento en la altura de la



planta y en el número de hojas de las mismas.

Algunos resultados obtenidos por Sánchez-Hernández *et al.* (2016) les permitieron llegar a la conclusión de que la utilización de vermicompost como complemento del sustrato produce un mayor rendimiento y calidad en los frutos de melón.

Hipótesis

En la producción de tomate en invernadero es posible disminuir la dosis de fertilizante químico incluyendo en el programa de fertilización un fertilizante orgánico, sin tener un decremento en la producción.

Objetivo

Evaluar el efecto de fertilizantes orgánicos y químicos en la concentración mineral presente en el tejido foliar del tomate.

Materiales y Métodos

Ubicación del experimento

El presente trabajo se llevó a cabo en las instalaciones del Centro de Agricultura Protegida (CAP) de la Facultad de Agronomía de la UANL, localizado en el Campus de Ciencias Agropecuarias en el municipio de Gral. Escobedo, N. L., con una ubicación geográfica de 25° 47' 07'' Latitud Norte, 100° 17' 03'' Longitud Oeste, con altitud de 479 msnm (INEGI, 2018).

Diseño Experimental y tratamientos

El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con 5 tratamientos y 7 repeticiones, con un contenedor con dos plantas como unidad experimental. Para los análisis estadísticos se utilizó el programa IBM SPSS Statistics.

Los tratamientos evaluados fueron:

T1- Testigo absoluto

T2- 500 mL Té de Vermicompost diluido 1:1 (té: agua) + 500 mL Tratamiento químico (18-18-18; N - P₂O₅ - K₂O; 1 g L⁻¹)

T3- 500 mL Lixiviado de Vermicompost diluido 1:3 (lixiviado: agua) + 500 mL Tratamiento químico (18-18-18; N - P₂O₅ - K₂O; 1 g L⁻¹)

T4- 500 mL Ácidos Húmicos 1:10 (ácidos húmicos: agua) + 500 mL Tratamiento químico (18-18-18; N - P₂O₅ - K₂O; 1 g L⁻¹)

T5- 1000 mL Testigo Químico (18-18-18; N - P₂O₅ - K₂O; 1 g L⁻¹)

Establecimiento

Para el desarrollo del experimento se utilizaron contenedores de 19 L con suelo como sustrato, el cual se caracterizó con un análisis de suelo para determinar su fertilidad. En cada contenedor se colocaron dos plantas.

Los contenedores se colocaron en el invernadero a una distancia de 50 cm desde el centro de cada contenedor, los cuales tuvieron una separación entre plantas de 15 cm.

El sistema de riego se instaló considerando dos emisores de goteo por contenedor; el riego se inició con 20 minutos cada 2 días. En uno de los contenedores se instaló un tensiómetro y se regó cuando la lectura llegó a 20 centibares.

Posteriormente para la determinación de minerales se tomaron muestras de hojas en cada unidad experimental, una vez realizado esto las muestras se colocaron en bolsas de papel e introdujeron en una estufa a 65°C por un periodo de 48h una vez transcurrido dicho tiempo, se retiraron de la estufa y se procedieron a pesar en una báscula electrónica.



El análisis foliar de minerales se realizó en el Laboratorio de Remediación Ambiental y Análisis de Suelos, Aguas y Plantas de la Facultad de Agronomía. En cuanto al nitrógeno (N) se refiere, éste se cuantificó mediante el método micro Kjendahl de acuerdo con la metodología de Bremner (1965). La determinación de fósforo (P) se realizó por el método del amarillo vanadato molibdato de acuerdo con la metodología descrita por Cavell (1955), con algunas modificaciones, mientras que para la determinación de los valores de Potasio (K), Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) se utilizó un espectrómetro de absorción atómica.

Preparación de fertilizantes orgánicos

La preparación de los fertilizantes orgánicos, se describió en los seminarios anteriores, de acuerdo a la metodología de (Ingham, 2005).

Variables Evaluadas

En esta etapa del experimento las variables que se evaluaron fueron las concentraciones de N, P, K, Ca y Mg en el tejido foliar.

Resultados y Discusión

Los análisis de varianza registraron diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los tratamientos (Cuadro 2) para N, P, K, Ca y Mg, por lo que se realizaron las pruebas de Tukey para la comparación de medias.

La concentración de N, fueron mayor en el tratamiento 4 (Ac. Húmicos de Leonardita + 18-18-18). En el análisis de la solución de ácidos húmicos no se encontraron concentraciones altas de N, sin embargo, Canellas *et al.* (2015) mencionan que las sustancias húmicas contienen cantidades significativas de nutrientes, como N y S, que pueden usarse como un soporte nutritivo para la horticultura. Así mismo en

estudios previos realizados por Gravel *et al.* (2010) se habla sobre la utilización de fertilización orgánica comparándola con la fertilización convencional, en donde se sugiere que las plantas de tomate en sistemas orgánicos, pueden absorber N selectivamente.

En cuanto al P se refiere, las comparaciones múltiples de medias mostraron que los tratamientos 2 (500 mL Té de vermicompost + 500 mL 18-18-18), 3 (500 mL Lixiviado de vermicompost + 500 mL 18-18-18), 4 (Ac. Húmicos de Leonardita + 18-18-18) y 5 (18-18-18) fueron estadísticamente iguales en este mineral y superiores al tratamiento 1 (Testigo absoluto), lo cual concuerda con la investigación realizada por Yeakub *et al.* (2016), quienes evaluaron biofertilizantes a base de compost, combinados con fertilizantes químicos, en donde se detectaron valores significativamente altos de P, K, Mg y Fe en tejido foliar seco en plantas de tomate.

En la determinación de K las comparaciones múltiples de medias mostraron que los tratamientos 1 (Testigo absoluto), 2 (Té de vermicompost + 18-18-18), 3 (Lixiviado de vermicompost + 18-18-18) y 5 (18-18-18) fueron estadísticamente iguales en este mineral y superiores al tratamiento 4 (Ac. Húmicos de Leonardita + 18-18-18).

Para las variables de Ca y Mg los tratamientos 2 (Té de vermicompost + 18-18-18) y 3 (Lixiviado de vermicompost + 18-18-18) fueron estadísticamente iguales, pero superiores a los demás tratamientos esto se puede atribuir a que la aplicación de sustancias húmicas a través del compost puede mejorar el uso de nutrientes en las plantas; por lo tanto son ideales para su uso en lugar de la regulación sintética del crecimiento vegetal (Xiao-xia *et al.*, 2019), así mismo



Yeakub *et al.* (2016) menciona que las sustancias a base de compost promueven un aumento en la absorción de minerales y su posterior transferencia a frutos.

Es necesario mencionar que los valores obtenidos en el presente trabajo concuerdan con los reportados como normales u óptimos (Cuadro 1) por (Jones, 2007)

Cuadro 1. Niveles de elementos esenciales en la planta de tomate.

Elemento	Rango Normal	Deficiente
		(%)
Nitrógeno (N)	2.8-6	< 2.0
Fósforo (P)	0.3-0.9	< 1.2
Potasio (K)	2.5-6	< 1.5 vegetativa (< 2.5 en fructificación)
Calcio (Ca)	0.9-7.2	< 1.0
Magnesio (Mg)	0.4-1.3	< 0.3

Fuente: Jones (2007)

Cuadro 2. Análisis de minerales en tejido foliar (N, P, K, Ca y Mg).

Tratamientos	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio
					(%)
Testigo	2.12 ab	0.42 b	1.35 ab	6.48 a	0.90 ab
Té de VC	1.62 b	0.45 ab	1.79 a	7.11 a	0.97 a
Lixiviado de VC	1.92 ab	0.52 ab	1.14 ab	5.91 ab	0.77 abc
Ac.Húmicos de Leonardita	2.33 a	0.44 ab	0.91 b	5.98 ab	0.69 bc
18-18-18	2.14 ab	0.61 a	1.87 a	4.45 b	0.55 c

a, b y c: valores con la misma letra son estadísticamente iguales ($p \leq 0.05$)

Conclusiones

El empleo combinado de abonos orgánicos y fertilizantes sintéticos cubre las necesidades del tomate sin afectar la nutrición de la planta y se reduce el empleo de fertilizantes sintéticos.

Referencias Bibliográficas

- ANACOFER (2016) Mercado Mexicano de Fertilizantes. Disponible en <http://www.anacofer.com.mx/graficas.htm>
- Bremner, J.M. (1965). Total nitrogen. In: *Methods for Soil Analysis Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. Wisconsin, USA: Amer. Soc. Agron.
- Canellas, L., Olivares, F., Aguiar, N., Jones, D., Nebbioso, A., Mazzei, P.



- and Piccolo, A. (2015). Humic and fulvic acids as biostimulant in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196:15-27.
- Cavell A.J. (1955). The colorimetric determination of phosphorus in plant materials. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 6:479-480.
- FIRA. (2017). Panorama Agroalimentario Tomate Rojo.
- Gravel, V., Blok, W., Hallmann, E., Carmona-Torres, C., Wang, H., De Peppel, A., Condor, A., Dorais, M., Meeteren, U., Heuvelink, E., Rembalkowska, E. and Van Bruggen, A. (2010). Different in N uptake and fruit quality between organically and conventionally grown greenhouse tomatoes. *Agronomy for Sustainable Development*, 30: 797-806.
- Goswami, L., Nath, A., Sutradhar, S., Bhattacharya, S., Kalamdhad, A., Vellingiri, K. and Kim, K. (2017). Application of drum compost and vermicompost to improve soil health, growth, and yield parameters for tomato and cabbage plants. *Journal of Environmental Management*, 200: 243-252.
- INEGI. (2018). Mapa Digital de México V6.3.0
- Ingham R.E; (2005). *The Compost Tea Brewing Manual*. 5th Edition. Soil Food webInc, Corvallis, Oregon. USA.79 p.
- Jones, J.B. (2007). *Tomato Plant Culture: In the Field, Greenhouse, and Home Garden*. 2a. Ed. Boca Raton, FL. USA: CRC Press
- Muñoz-Ramos, J., Castellanos, J. (2011). *Manual de Producción de Tomate en Invernadero*. Celaya: Intagri.
- Ochoa-Martínez, E., Figueroa-Viramontes, U., Cano-Ríos, P., Preciado-Rangel, P., Moreno-Reséndez, A., Rodríguez- Dimas, N. (2009). Té de composta como fertilizante orgánico en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 15(3), 245-250.
- Rodríguez-Rodríguez, R., Tabares-Rodríguez, J.M. y Medina-San Juan, J.A. (1996). *Cultivo moderno del tomate*. Madrid, España:Ediciones Mundi Prensa.
- Salgado-García, S., Núñez-Escobar, R. (2012). *Manejo de Fertilizantes Químicos y Orgánicos*. Texcoco: Editorial del Colegio de Postgraduados.
- Sanchez-Hernández, D., Fortis-Hernández, M., Esparza-Rivera, J., Rodríguez-Ortiz, J., De la Cruz-Lázaro, E., Sánchez-Chávez, E. y Preciado-Rangel, P. (2016). Empleo de vermicompost en la producción de frutos de melón y su calidad nutracéutica. *Interciencia*, 41: 213-217.
- Vázquez-Vázquez, P., García-López, M., Navarro- Cortez, M. y García-Hernández, D. (2015). Efecto de la Composta y Té de Composta en el crecimiento y producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en invernadero. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 1351-135.
- Xiao-Xia, G., Hong-tao, L. and Shu-biao, W. (2019). Humic substances developed during organic waste composting: formation mechanisms, structural properties, and agronomic functions. *Science of the Total Environment*, 662:501-510.
- Yeakub, K., Manjurul, H., Hossain, M., Mizanur, R., and Zahangeer, M. (2016). Antioxidant compounds and minerals in tomatoes by Trichoderma enriched biofertilizer and their relationship with the soil environments. *Journal of Integrative Agriculture*, 15(0): 60345-7.



Efecto de la intensidad y calidad de luz en la producción de microplantas de brócoli en un Sistema Plant Factory

Natiely Gallo-De la Paz ^{1*}; Humberto Rodríguez-Fuentes¹; Romeo Rojas¹; Alejandro Isabel Luna-Maldonado¹; Cristian Martínez-Ávila¹

¹Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía.
Francisco Villa s/n, Col. Ex-Hacienda El Canadá, C.P. 66050, General Escobedo, Nuevo León, México. *Email: natiely.gallodlp@uanl.edu.mx

Resumen: Esta investigación se realizó en la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León; se evaluó el efecto de la calidad, intensidad de la luz y fotoperiodo en la producción de biomasa, capacidad antioxidante y contenido mineral de microplantas de brócoli bajo condiciones de control ambiental total. Se evaluaron tres tratamientos de luz: L1= 12 LID y 250 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$; T2= 12 LID y 200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ y L3= 10 LID y 250 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Las variables evaluadas fueron peso fresco total y peso seco total (parte aérea + raíz), encontrando que los tratamientos L1 y L3 obtuvieron los mayores valores de biomasa seca ($p \leq 0.05$). La capacidad antioxidante presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos de luz.

Palabras clave: *Brassica oleracea* var. *Waltham*, intensidad y calidad de luz, hidroponía

Abstract: This research was carried out at the Faculty of Agronomy of the Autonomous University of Nuevo Leon; the effect of quality, light intensity and biomass production, antioxidant capacity and mineral content of broccoli microgreens were evaluated under total environment control. Three light treatments were tested L1= 12 LID and 250 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, T2= 12 LID and 200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ and L3= 10 LID and 250 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Three samples were taken at 7, 12 and 17 DDS. A completely randomized design in divided plots with four replicates was used. The variables evaluated were total fresh and dry weight (aerial part + root), finding that the L1 and L3 treatments obtained the higher dry biomass values ($p \leq 0.05$). The antioxidant capacity showed significant difference ($p \leq 0.05$) between light treatments.

Keywords: *Brassica oleracea* var. *Waltham*, light intensity, light quality, hydroponic

Introducción

Plant Factory (PF) es un sistema de agricultura protegida donde el ambiente en el que se desarrollan los cultivos es planeado y controlado para la producción de especies vegetales, la finalidad de este es optimizar las condiciones ambientales que generen la mayor producción de biomasa, metabolitos secundarios de interés comercial y nutracéutico, así como

el contenido mineral (Yokoi *et al.*, 2005; Kozai, 2008; Kozai *et al.*, 2015).

Los Sistemas Plant Factory (SPF) se clasifican en abiertos o cerrados, en éste último además de controlar de manera artificial las condiciones de temperatura, humedad relativa, nutrimentos, se puede ajustar la condición de luz (calidad, intensidad y fotoperiodo) (Moon *et al.*, 2011; Shiina *et al.*, 2010; Malayeri *et al.*, 2010).



La luz es un regulador de la mayoría de los procesos biológicos y rutas metabólicas en las plantas (Carvalho, *et al.*, 2008) debido a que éstas reaccionan a la intensidad y calidad de la luz (Zhang y Folta, 2011) a través de sus fotoreceptores, que son activados bajo longitudes de onda específicas (Li *et al.*, 2012). Estos absorben principalmente la luz azul-violeta (450-490 y 390-450 nm) y rojo-naranja (620-750 y 590-620 nm). En un SPF, la calidad, la intensidad y el fotoperiodo son los factores que deben considerarse en la luz para obtener una mayor producción de biomasa, metabolitos secundarios y contenido de minerales (Zhang y Folta, 2011).

Mediante la iluminación con diodos emisores de luz (LED) comúnmente usada en un SPF, es posible generar una composición espectral específica (Tamulaitis *et al.*, 2005), por ejemplo, los estudios realizados por Matsuda *et al.*, 2008 muestran que la luz azul o en combinación de azul:rojo incrementa la biomasa de especies vegetales, como espinaca y lechuga. El rango óptimo de intensidad luminosa proporcionada a hortalizas de hoja que han sido producidas en ambientes controlados es de 200 a 300 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (Bian *et al.*, 2014), la cual favorece la fotosíntesis neta y la mayor acumulación de materia seca, por el contrario, el exceso puede limitarlas (Hu *et al.*, 2007).

La luz monocromática roja y azul en forma individual o combinada incrementa la acumulación de metabolitos primarios y secundarios tales como azúcares y proteínas solubles, polifenoles, vitaminas C, tocoferoles y carotenoides esto comparado con todo el espectro de luz visible (380-700nm) (Li *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2013). Así mismo, Ohashi *et al.*, 2007 mencionan que en el cultivo del género *Brassica*, la luz azul con una intensidad de 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ incrementó el contenido

de vitamina C, clorofila y carotenoides comparado con la luz blanca.

Johkam *et al.*, 2010 y Somouliene *et al.*, 2013, mencionan que proporcionar de 100-200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ de luz azul en *Lactuca sativa* se incrementa la biosíntesis de compuestos fenólicos, vitamina C, tocoferoles y carotenoides con un aumento en su capacidad antioxidante, también muestran que al suministrar 90 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ de la mezcla azul:rojo en *Lactuca sativa* durante 17 días después de siembra (DDS), se aumenta la síntesis de antocianinas, polifenoles, flavonoides y GLS.

El factor principal que determina el contenido de minerales en la planta es genético, así como la disponibilidad de nutrientes en la solución nutritiva (Tsukagoshi *et al.*, 2016). Existen otros factores también involucrados; Shin *et al.*, 2013, evaluó el efecto de la luz en la concentración de elementos inorgánicos en *Lactuca sativa* L. *rollo rosa*, encontrando que para N, Ca, Mg y Fe el contenido se incrementó en las plantas cultivadas bajo luz LED rojo:azul al ser comparadas con las que se cultivaron bajo condición de luz fluorescente, concluyendo que la combinación rojo:azul incrementó la producción de biomasa así como el contenido de estos nutrientes.

Las microplantas comercialmente conocidas como “microgreens” se consideran alimentos funcionales o nutraceuticos y han tomado gran popularidad en la alimentación humana debido a su gran contenido de compuestos bioactivos. Se pueden definir como plántulas con cotiledones así como sus primeras hojas verdaderas (Xiao *et al.*, 2012; Brazaitytė *et al.*, 2015) y son cosechadas de los 7 a los 20 días después de siembra dependiendo de la especie (Bulgari *et al.*, 2012; Lee *et al.*, 2004). El brócoli es un cultivo que aporta grandes beneficios a la salud humana ya que presenta un alto contenido de vitaminas,



antioxidantes, así como moléculas anticancerígenas (Kou *et al.*, 2014).

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue: evaluar el efecto de la intensidad y calidad de luz en la producción de biomasa, capacidad antioxidante y concentración de algunos nutrimentos en microplantas de brócoli (*Brassica oleracea* var. *Waltham*) cultivadas en condiciones de control ambiental total.

Etapas de la investigación

El proyecto de investigación consta de cuatro etapas:

- I. Pruebas preliminares
- II. Producción de biomasa
- III. Análisis de capacidad antioxidante
- IV. Programa de nutrición

A continuación, se presenta un resumen de los resultados en las etapas I, II y III para el cultivo de brócoli.

Etapas I. Pruebas preliminares

La primera etapa consistió en la realización de pruebas preliminares con las cuales se determinó el método de producción por metro cúbico, así como los materiales a usar, charolas y placas de polipropileno y tela poliéster industrial. En esta etapa también se determinaron los parámetros ambientales para cultivar microplantas de brócoli así como la solución nutritiva (SN) empleada, los tratamientos de luz a evaluar y la densidad de población de ≈ 2000 plantas por 0.25 m^2 .

La variable peso seco total (parte aérea + raíz) mostró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre el factor luz independiente de la densidad, siendo L3 el mejor tratamiento de luz. Para capacidad antioxidante para los ensayos ABTS y DPPH no se presentaron diferencias entre tratamientos ($p \leq 0.05$).

Etapas II. Producción de Biomasa

Sitio de estudio

La etapa experimental se realizó en el Laboratorio de Sistema de Producción en Ambiente Controlado y en el Laboratorio de Química y Bioquímica de la Facultad de Agronomía, ubicada en General Escobedo, N.L., México.

Material Biológico

Se utilizó *Brassica oleracea* var. *Waltham*. La nutrición de las plantas se suministró mediante la solución nutritiva (SN) propuesta por Rodríguez-Fuentes *et al.* (2011), en el Cuadro 1 se muestra la concentración del elemento y la fuente utilizada para la elaboración de la SN, la cual fue ajustada a un pH de 5.5 con la aplicación de ácido sulfúrico grado reactivo (GR), se midió la conductividad eléctrica, pH y oxígeno de la solución cada 24 h, mediante un medidor multiparamétrico marca Hanna modelo HI9829.

Cuadro 1. Elementos, concentración y fuente empleados para elaboración de solución nutritiva.

Elemento	Concentración (mg L ⁻¹)	Fuente
N	200	-----
P	60	KH ₂ PO ₄
K	250	KNO ₃
Ca	200	Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O
Mg	50	Mg(NO ₃) ₂
S	100	H ₂ SO ₄
Fe	0.5	FeSO ₄ ·7H ₂ O
Mn	0.25	MnSO ₄ ·H ₂ O
B	0.25	H ₃ BO ₃
Cu	0.03	CuSO ₄ ·5H ₂ O
Zn	0.25	ZnSO ₄ ·H ₂ O

Sistema de Producción por Metro Cúbico
Previo a la experimentación se realizó una prueba de germinación de la semilla obteniendo un 70%, posterior, para la siembra se realizó una corrección al 100%. Para la germinación de la semilla se utilizaron placas de poliestireno con 400 perforaciones de 5 mm de diámetro. Las dimensiones de la placa fueron 0.5 m X 0.5



m X 0.01 m, las cuales fueron lavadas con jabón, se enjuagaron con agua de grifo y posteriormente se sanitizaron con una solución al 2% de hipoclorito de sodio por aspersión.

Sobre cada placa de poliestireno fue colocada una lámina de tela poliéster textil de 0.55 m X 0.55 m, previamente sanitizada. Esto se realizó colocándolas dentro de un recipiente cerrado y posteriormente se aplicó ozono mediante equipo (Duo Gong 400) de inyección por manguera durante 20 min con un flujo de 400 mg/h.

Se empleó un sistema hidropónico tipo torre, que constó de tres niveles, se utilizó un área de superficie de siembra de 0.5 m². Cada nivel constó de una base de acero inoxidable de (0.85 m X 1.91 m X 0.2 m) para contener un volumen de 80 L de SN, en su interior se depositaron las dos placas de poliestireno con una lámina de tela en cada una, cada conjunto se mantuvo flotando en la SN.

Las semillas fueron colocadas sobre la tela en una densidad de siembra de 9.8 g por 0.25 m² (≈2000 semillas / 0.25 m²). Se realizaron tres muestreos en todo el ciclo del cultivo hasta la cosecha, siendo éstas a los 7, 12 y 17 días DDS respectivamente.

Variables ambientales

Se registraron los parámetros de temperatura, % de humedad relativa y concentración de CO₂ del aire cada 12 horas, obteniendo el promedio de las 2 lecturas. Esto se realizó con un sensor de temperatura y humedad (Grove Temperature & Humidity Sensor modelo v1.0 de Seeed Technology Co., Ltd., China).

Tratamientos

Se evaluaron 3 tratamientos cuyas características se describen en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Características de los tratamientos de luz

Tratamiento	LID (mol·m ⁻² ·s ⁻¹ ·h)	Intensidad (mol·m ⁻² ·s ⁻¹)	Fotoperiodo (h)	Calidad
L1	12	250	13.3	R, B
L2	12	200	16.6	R, B, W
L3	10	250	11.1	R, B

R= rojo, B= azul, W= blanco LID= Luz integral diaria

Para los tratamientos 1 y 3 se utilizaron tres lámparas LED tubulares compuestas marca LG (mod. Arize Life©). En el tratamiento 2 se usaron lámparas tubulares LED T8 rojo, azul (mod. 21019, DUBAI) y blanco frío (mod. DLM, mod. ML-TU-CR1 de DLM S de R.L. de C.V., México). El fotoperiodo fue controlado con dispositivos Timers, el tiempo para cada tratamiento se puede observar en el Cuadro 2.

Evaluación de biomasa

En cada uno de los muestreos se evaluó el peso fresco total y peso seco total de 15 microplantas (raíz + tallo + hojas) siendo éste el tamaño de muestra, para el análisis estadístico se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo en parcelas divididas, la unidad experimental fue de 0.125 m², con 4 repeticiones. Las plantas fueron pesadas antes y después del secado.

De acuerdo al análisis de varianza y la comparación de medias realizadas para la variable peso seco se observaron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos y su interacción.

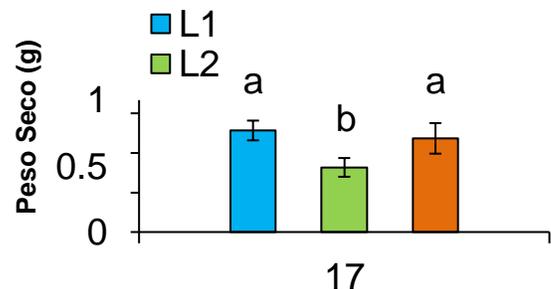


Figura 1. Comparación de medias entre tratamientos a los 17 DDS.

Se encontró que a los 17 DDS los tratamientos L1 y L3 presentaron la mayor acumulación de biomasa siendo



estadísticamente iguales ($p \leq 0.05$), esto debido a que tienen una relación 3:1 de rojo:azul (R:B) mientras que L2 que presentó una relación de 1.38:1 (Figura 1). Este incremento puede atribuirse a la mayor cantidad de luz roja presente en la relación R:B de los tratamientos, ya que ésta es detectada por las plantas por sus receptores de fitocromo (Pinho, 2008), la luz roja es principalmente usada en la eficiencia de la fotosíntesis pero es necesario la sinergia de otras longitudes de onda, como la azul, para maximizar el crecimiento y desarrollo de la planta (Yorio *et al.*, 2001; Paniagua-Pardo *et al.*, 2015).

Etapas III. Evaluación de Capacidad Antioxidante

La evaluación de la capacidad antioxidante se realizó a los 7, 12 y 17 DDS. Para el análisis estadístico se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo en parcelas divididas, el tamaño de muestra fue de 20 microplantas y una unidad experimental de 0.125 m², con 4 repeticiones.

Las muestras fueron congeladas a -18°C para su preservación. Posteriormente se obtuvo un extracto metanólico de cada muestra de acuerdo con lo reportado por Zhang *et al.* (2018). Para determinar la capacidad antioxidante de las muestras se realizaron tres repeticiones en las cuales se utilizaron los métodos ABTS^{•+}, DPPH[•] y FRAP bajo la metodología de Hernández *et al.*, 2018. Los Compuestos fenólicos totales se evaluaron con la prueba de Folin Ciocalteu.

De acuerdo con el análisis estadístico para las variables de compuestos fenólicos, DPPH[•] y FRAP el factor luz no tuvo efecto significativo ($p \leq 0.05$). Sin embargo, es importante mencionar que la acumulación de compuestos fenólicos mostró una tendencia de incremento respecto al tiempo de muestreo, por el contrario, la

capacidad antioxidante en todos los métodos: ABTS^{•+}, DPPH[•] y FRAP, mostraron una tendencia decreciente a través del tiempo. Esto posiblemente fue debido a que los compuestos fenólicos presentes en las primeras etapas de crecimiento presentan mayor actividad antioxidante.

Materiales y Métodos

A continuación, se describe la Etapa IV, la cual se encuentra desarrollándose en el laboratorio.

Etapas IV. Programa de absorción de nutrimentos

Las microplantas cosechadas a los 17 DDS se les determinará la concentración de algunos minerales. Para el análisis estadístico se utilizará un diseño completamente al azar con un tamaño de muestra de 80 microplantas, la unidad experimental será de 0.125 m² con 6 repeticiones.

Se determinará la concentración de K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu y Zn, según lo recomendado por Rodríguez-Fuentes y Rodríguez-Absi (2015), para ello se realizarán extractos con ácido clorhídrico de cada muestra por triplicado, se utilizará la técnica de espectroscopia de absorción atómica.

Para la estimar el Nitrógeno total se empleará el método Kjeldahl de acuerdo con lo establecido por Rodríguez-Fuentes y Rodríguez-Absi (2015), el cual contempla 3 etapas: Digestión, Destilación y Titulación. La determinación de P se realizará por espectroscopia óptica.

Referencias Bibliográficas

Bian, Z. H., Yang, Q. C., & Liu, W. K. (2015). Effects of light quality on the



- accumulation of phytochemicals in vegetables produced in controlled environments: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(5), 869-877.
- Brazaitytė, A., Jankauskienė, J., & Novičkovas, A. (2013). The effects of supplementary short-term red LEDs lighting on nutritional quality of *Perilla frutescens* L. microgreens. *RURAL DEVELOPMENT 2013*, 54.
- Bulgari, R., Baldi, A., Ferrante, A., & Lenzi, A. (2017). Yield and quality of basil, Swiss chard, and rocket microgreens grown in a hydroponic system. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 45(2), 119-129.
- Carvalho, L. C., Santos, S., Vilela, B. J., & Amâncio, S. (2008). *Solanum lycopersicon* Mill. and *Nicotiana benthamiana* L. under high light show distinct responses to anti-oxidative stress. *Journal of plant physiology*, 165(12), 1300-1312.
- Hernández, M., Ventura, J., Castro, C., Boone, V., Rojas, R., Ascacio-Valdés, J., & Martínez-Ávila, G. (2018). Uplc-esi-qtof-ms2-based identification and antioxidant activity assessment of phenolic compounds from *Zea mays* L. *Molecules*, 23(6), 1425.
- Johkan, M., Shoji, K., Goto, F., Hashida, S. N., & Yoshihara, T. (2010). Blue light-emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce. *HortScience*, 45(12), 1809-1814.
- Kim, K., Kook, H. S., Jang, Y. J., Lee, W. H., Kamala-Kannan, S., Chae, J. C., & Lee, K. J. (2013). The effect of blue-light-emitting diodes on antioxidant properties and resistance to *Botrytis cinerea* in tomato. *Journal Plant Pathology Microbiology*, 4, 203.
- Kou, L., Yang, T., Luo, Y., Liu, X., Huang, L., & Codling, E. (2014). Pre-harvest calcium application increases biomass and delays senescence of broccoli microgreens. *Postharvest biology and technology*, 87, 70-78.
- Kozai, T. (2008). Closed systems for high quality transplants using minimum resources. In *Plan Tissue Culture Engineering* (pp. 275-312). *Springer Netherlands*.
- Kozai, T., Niu, G., & Takagaki, M. (Eds.). (2015). *Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production*. *Academic Press*.
- Lee, J. S., Pill, W. G., Cobb, B. B., & Olszewski, M. (2004). Seed treatments to advance greenhouse establishment of beet and chard microgreens. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 79(4), 565-570.
- Li, H., Tang, C., Xu, Z., Liu, X., & Han, X. (2012). Effects of different light sources on the growth of non-heading Chinese cabbage (*Brassica campestris* L.). *Journal of Agricultural Science*, 4(4), 262.
- Malayeri, SH., Hikosaka, S., & Goto, E. (2010) Effects of light period and light intensity on essential oil composition of Japanese mint grown in a closed production system. *Environmental Control Biology*, 48(3), 141-149.
- Matsuda, R., Ohashi-Kaneko, K., Fujiwara, K., & Kurata, K. (2008). Effects of blue light deficiency on acclimation of light energy partitioning in PSII and CO₂ assimilation capacity to high irradiance in spinach leaves. *Plant and Cell Physiology*, 49(4), 664-670.
- Moon, A., Li, S., & Kim, K. (2011). Components based integrated management platform for flexible service deployment in plant factory. *International Conference on Human-Computer Interaction*, 1, 524-528.



- Ohashi-Kaneko, K., Takase, M., Kon, N., Fujiwara, K., & Kurata, K. (2007). Effect of light quality on growth and vegetable quality in leaf lettuce, spinach and komatsuna. *Environmental Control in Biology*, 45(3), 189-198.
- Pinho, P. (2008). Usage and control of solid-state lighting for plant growth.
- Paniagua-Pardo, G., Hernández-Aguilar, C., Rico-Martínez, F., Domínguez-Pacheco, F. A., Martínez-Ortiz, E., & Martínez-González, C. L. (2015). Efecto de la luz led de alta intensidad sobre la germinación y el crecimiento de plántulas de brócoli (*Brassica oleracea* L.). *Polibotánica*, (40), 199-212.
- Pinho, P. (2008). Usage and control of solid-state lighting for plant growth.
- Rodríguez-Fuentes H, J Rodríguez-Absi (2015) *Métodos de análisis de suelo y plantas*. México: Trillas S.A. de C.V
- Rodríguez-Fuentes, H., Rodríguez-Absi, J., Almaguer-Sierra, P. & Rodríguez-Ortiz, J. C. (2011). *Cultivo hidropónico del Nopal*. México: Trillas S.A. de C.V
- Samuolienė, G., Brazaitytė, A., Sirtautas, R., Viršilė, A., Sakalauskaitė, J., Sakalauskienė, S., & Duchovskis, P. (2013). LED illumination affects bioactive compounds in romaine baby leaf lettuce. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(13), 3286-3291.
- Shin, Y. S., Lee, M. J., Lee, E. S., Ahn, J. H., Do, H. W., Choi, D. W., & Um, Y. G. (2013). Effect of Light Emitting Diodes Treatment on Growth and Mineral Contents of Lettuce (*Lactuca sativa* L. 'Chung Chi Ma'). 21(4), 659-668.
- Shiina, T., Hosokawa, D., Roy, P., Nakamura, N., Thammawong, M., & Orikasa, T. (2010). Life cycle inventory analysis of leafy vegetables grown in two types of plant factories. *Acta Horticulture*, 919, 115-122.
- Tamulaitis, G., Duchovskis, P., Bliznikas, Z., Breive, K., Ulinskaite, R., Brazaityte, A., & Žukauskas, A. (2005). High-power light-emitting diode based facility for plant cultivation. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 38(17), 3182.
- Tsukagoshi, S., & Shinohara, Y. (2016). Nutrition and Nutrient Uptake in Soilless Culture Systems. *In Plant Factory*, 165-172.
- Xiao, Z., Lester, G. E., Luo, Y., & Wang, Q. (2012). Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microgreens. *Journal of agricultural and Food Chemistry*, 60(31), 7644-7651.
- Yokoi, S., Kozai, T., Hasegawa, T., Chun, C., & Kubota, C. (2005). CO₂ and water Utilization efficiencies of a closed transplant production system as affected by leaf area index of tomato seedling populations and the number of air exchanges. *Journal of Society of High Technology in Agriculture (Japan)*.
- Yorio, N. C., Goins, G. D., Kagie, H. R., Wheeler, R. M., & Sager, J. C. (2001). Improving spinach, radish, and lettuce growth under red light-emitting diodes (LEDs) with blue light supplementation. *HortScience*, 36(2), 380-383.
- Zhang, T., Maruhnich, S. A., & Folta, K. M. (2011). Green light induces shade avoidance symptoms. *Plant physiology*, 157, 1528–1536.
- Zhang, T. J., Zheng, J., Yu, Z. C., Huang, X. D., Zhang, Q. L., Tian, X. S., & Peng, C. L. (2018). Functional characteristics of phenolic compounds accumulated in young leaves of two subtropical forest tree species of different successional



stages. *Tree physiology*, 38(10), 1486-1501.

Hu, Y. B., Sun, G. Y., & Wang, X. C. (2007). Induction characteristics and response of photosynthetic quantum conversion to changes in irradiance in mulberry plants. *Journal of plant physiology*, 164(8), 959-968.



Análisis morfométrico e hidrológico de cuatro subcuencas y sus microcuencas que influyen hidrológicamente en la Zona Metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México

Sergio Ramirez-Treviño¹; Juan Francisco Pissani-Zuñiga¹; Edgar Vladimir Gutiérrez-Castorena¹; Vladimir Garcia-Aguilar².

¹Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Agronomía. Francisco Villa S/N, Col. Ex Hacienda El Canadá, Gral. Escobedo, Nuevo León, México.

²Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Adolfo Prieto Ote. 2314, Col. Obrera, 64010 Monterrey, Nuevo León, México. E-mail: sergio.ramireztrv@uanl.edu.mx

Resumen: El presente trabajo tiene como objetivo delimitar y analizar la morfometría e hidrología de las microcuencas de cuatro subcuencas: San Juan (RH24Bb), Pesquería (RH24Bc), Salinas (RH24Bd) y Santa Catarina (RH24Bf), que influyen hidrológicamente en la Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM), Nuevo León, México, aplicando sistemas de información geográfica, basándose en las cartas topográficas digitalizadas del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), a escala 1:20 000, utilizando el software ArcGIS v10.3 y Mapa Digital de México v6.3.0 para Escritorio (INEGI). En la Subcuenca San Juan se delimitaron 9 microcuencas, 19 en la Subcuenca Pesquería, 35 en la Subcuenca Santa Catarina y en la Subcuenca Salinas se delimitaron 30. La Subcuenca Río Santa Catarina fue la que presentó mayor número de microcuencas con problemas de inundaciones, seguida del Río Pesquería. Las que presentaron menor tendencia a inundaciones fueron las de Río San Juan y Río Salinas.

Palabras clave: morfometría, hidrología, microcuenca, red de drenaje.

Abstract: The objective of this work is to analyze and delimit the morphometry and hydrology of the micro-basins in four sub-basins: San Juan (RH24Bb), Pesquería (RH24Bc), Salinas (RH24Bd) and Santa Catarina (RH24Bf), which hydrologically influence the Monterrey Metropolitan Area (ZMM), Nuevo León, Mexico, applying geographic information systems, based on digitized topographic charts of the National Institute of Statistics and Geography (INEGI), at scale 1:20 000, using ArcGIS v10.3 software and Digital Map of Mexico v6.3.0 for Desktop (INEGI). In the San Juan Sub-basin, 9 micro-basins were delimited, 19 in the Pesquería sub-basin, 35 in the Santa Catarina sub-basin, while in the Salinas sub-basins, 30 were delimited. The Rio Santa Catarina sub-basin was the one with the highest number of micro-basins with flooding problems, followed by the Río Pesquería. Those that presented the least problems due to floods were those of Río San Juan and Río Salinas.

Keywords: morphometry, hydrology, microbasin, drainage network.

Introducción

La República Mexicana en su mayoría, presenta los daños ambientales causados por la falta de una verdadera



administración ordenada y sustentable. Un ejemplo es la degradación de los suelos, provocada por diversos factores, entre ellos, el cambio de uso de suelo de espacios naturales a modificados por actividad humana, trayendo consigo pérdida de nutrientes en el suelo, degradación de las zonas de producción agrícola y pecuaria, reducción de la diversidad natural, así como una disminución de la vida útil de obras hidrológicas por acumulación de sedimentos (Montes, *et al.*, 2011).

Dentro del territorio de la cuenca, se encuentran recursos invaluable para el correcto desarrollo de las poblaciones y ecosistemas encontrados en su interior. La cada vez menor disponibilidad de los recursos naturales hace necesaria la elaboración de estudios multiescales que faciliten su correcta gestión, la cual debe tener como prioridad la recuperación y disponibilidad futura de dichos recursos. En México, la degradación de los sistemas o recursos naturales no ha sido la excepción, causando estragos ecológicos, económicos y sociales.

Los componentes integradores en las cuencas se arreglan de ecosistemas naturales o modificados, vinculados entre ellos tanto para zonas altas como bajas, por medio de los cursos de agua, los cuales unen poblaciones distantes unas entre otras (Cotler, 2010).

Las cuencas tienen subdivisiones internas las cuales ayudan al momento de su administración, tal es el caso de las subcuencas y las microcuencas, estas últimas deben ser la base de la administración de las primeras, debido a que en las microcuencas tanto las actividades humanas como los ecosistemas naturales se encuentran ligados de una manera indivisible. Estas a su vez, en la mayoría de los casos, descargan sus afluentes a cauces principales por lo que son parte de un

sistema hidrológico mayor y por ende más complejo (Alatorre, 2007).

En 2002, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) instruyó al Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) para que implementara el Programa Nacional de Microcuencas, que tiene como premisa fundamental la identificación de necesidades y oportunidades en unidades territoriales definidas como microcuencas, a través de procesos de planeación-gestión-acción documentados en Planes Rectores de Producción y Conservación (PRPC) (Casillas, 2006).

Las microcuencas poseen un medio agroecológico y social, el cual tiende a la homogeneidad, lo que permite aplicar programas y proyectos rurales con un alto grado de planeación. En dicho territorio se facilita la implementación de los trabajos necesarios en un espacio y tiempo específico, así como la obtención de recursos económicos, tecnológicos y humanos al tener un marco de referencia bien definido (Casillas, 2006).

Las tecnologías actuales de información, así como los avances en ingeniería de software han permitido el desarrollo de los llamados "Sistemas de Información Geográfica" (SIG) los cuales nos permiten procesar, modelar, y visualizar los datos para su posterior análisis. Muchos de estos sistemas poseen herramientas que facilitan la elaboración de redes geométricas, las cuales permiten modelar elementos naturales encontrados en el mundo real (INEGI, 2010).

Las propiedades morfométricas e hidrográficas de las microcuencas proporcionan una descripción física espacial que permite realizar comparaciones entre distintas microcuencas hidrográficas. Al mismo tiempo, pueden proporcionar conclusiones preliminares sobre las características ambientales del territorio a partir de la



descripción precisa de la geometría e hidrología de las formas superficiales. Calcular los parámetros morfométricos de una microcuenca es el paso primordial para la determinación de su comportamiento hidrológico ante eventos de precipitación (Lux, 2016). Microcuencas con la misma superficie, así como vegetación y características físicas similares, pero con una forma circular, se comportan radicalmente diferentes a microcuencas alargadas o estrechas, lo que se puede explicar con el hecho de que los escurrimientos en general requieren menos tiempo para alcanzar el punto de salida (Consortio Rio Garaboa, s/f).

Los parámetros más utilizados son el factor de forma (Ff), índice de circularidad (Ic) y coeficiente de compacidad (Kc), los cuales tienen la finalidad de comparar la forma de la cuenca con una figura geométrica específica como es el caso de un círculo o una forma cuadrada, lo que a su vez nos permite predecir su comportamiento hidrológico ante eventos de precipitación. La densidad de drenaje (Dd) es un parámetro hidro-morfométrico el cual se ha utilizado para predecir la probabilidad de escorrentía superficial y por ende, de erosión (Ceringoni, 2015).

Hipótesis

La plataforma digital modelada con la información de las cartas topográficas y temáticas de INEGI, así como los Software ArcGIS v10.3 y el Mapa Digital de México para Escritorio v6.3.0, permiten delimitar y analizar las características morfométricas e hidrológicas de las microcuencas pertenecientes a las subcuencas: Río San Juan (RH24Bb), Río Pesquería (RH24Bc), Salinas (RH24Bd) y Río Santa Catarina (RH24Bf), que abarcan la Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM).

Justificación

La Zona Metropolitana de Monterrey se localiza en la parte centro-oeste del estado

de Nuevo León, con una superficie de 6,357 km² equivalente 10% de la superficie del estado y representa el tercer núcleo urbano demográfico, económico, social y político-administrativo más importante de México.

Sin embargo, debido al dinamismo de su expansión urbana e industrial enfrenta grandes retos de sustentabilidad debido a sus limitados recursos hídricos, altos consumos energéticos de su aparato productivo y una deficiente viabilidad que han modificado considerablemente el paisaje de las cuencas, ya que la construcción de infraestructuras modifica el uso del suelo. Estas modificaciones han generado el aumento del área impermeabilizada y como consecuencia la disminución de la infiltración, recarga de los acuíferos subterráneos, disminución o eliminación de la cobertura vegetal, aumento del volumen de escorrentía superficial e incremento de las velocidades del flujo superficial. Además, repercuten en una mala calidad del aire.

Su hidrología superficial se caracteriza principalmente por una red de corrientes intermitentes constituida por los arroyos Topo Chico, Las Tinajas, Elizondo y El Sabinar, entre otros, y solo se puede considerar como permanente el río San Juan, así como algunos tramos de los ríos: Pesquería, Santa Catarina, Salinas y La Silla. En la época de lluvias intensas, regularmente durante los meses de septiembre y octubre (temporada de ciclones y huracanes), esta red en los cauces de sus arroyos y ríos tiene un incremento considerable de sus escurrimientos. Este aumento, conocido como avenida puede alcanzar eventualmente grandes dimensiones, provocar daños materiales en las riberas e inundaciones.

La presa Rodrigo Gómez se encuentra ubicada en el Subcuenca Río San Juan



(RH24Bb) y su importancia radica en que es una de las principales fuentes de agua de la ZMM, además de ser uno de los puntos turísticos de mayor importancia en el estado. Aguas debajo del río, se ubican municipios de ultra crecimiento poblacional.

El Río Pesquería (RH24Bc) atraviesa toda la ZMM de Oeste a Este y uno de sus afluentes secundarios (Arroyo Topo chico) se origina en pleno municipio de Monterrey, atravesando los municipios de San Nicolás y Apodaca, para al fin descargar sus aguas al río Pesquería. A lo largo de su recorrido se encuentran importantes áreas urbanizadas y zonas con gran potencial de erosión hídrica, por lo que la población que habita en sus alrededores está en riesgo.

En la Subcuenca Río Salinas (RH24Bd) se localizan municipios de gran crecimiento poblacional, por lo que se están presentando remociones importantes de vegetación nativa, siendo remplazados por superficies impermeables. Una tendencia que se presentó en otros municipios de la ZMM fue el establecimiento de población a poca distancia de los afluentes, hasta llegar al punto de ubicarse sobre los escurrimientos efímeros, por lo que se presentan inundaciones en época de lluvia, siendo probable que se presente esta tendencia en los nuevos sitios urbanos.

La vegetación nativa presente en la subcuenca Río Santa Catarina (RH24Bf), ha sufrido grandes cambios entre los periodos de 1975-1995, pasando de bosque y matorral submontano con gran capacidad de captación de agua a matorrales rosetófilos y microfilas con menor requerimiento del vital líquido. En el mismo periodo, los escurrimientos superficiales aumentaron un 10% (Murillo, 2002).

En general, tanto el aumento poblacional, como las modificaciones hechas al uso de suelo (remoción de la vegetación nativa y establecimiento de zonas urbanas) están causando un incremento en los escurrimientos superficiales con mayor traslado de sedimentos, lo que aumenta la erosión y el riesgo a inundaciones. Para evitar estos contratiempos se recomiendan planes de reforestación como medida a corto plazo y construcción de obras hidrológicas. Es por ello que la rehabilitación, prevención y conservación de sus áreas naturales, es de vital importancia.

Para realizar un estudio completo de una cuenca o unidad hidrológica es necesario ir más allá de sólo determinar su gasto en el punto de salida, sino también se requiere determinar su comportamiento a lo largo de su superficie en un determinado periodo (Fuentes, 2004).

Conocer la morfometría e hidrología de cada microcuenca nos permitirá un mejor manejo de los recursos naturales presentes en ellas, principalmente el suelo y el agua, que de forma general son los más degradados por acciones antropogénicas tales como la agricultura, ganadería y urbanización.

Objetivo general

Delimitar y analizar a diversas escalas de observación la morfometría e hidrología superficial de las subcuencas y sus respectivas microcuencas, que comprenden la red hidrológica de la ZMM, N.L., por medio de sistemas de información geográfica y Software especializados con la finalidad de que dicha información sirva para orientar las acciones de planificación, gestión y mitigación para la conservación y uso sostenible de los recursos naturales.

Objetivos específicos



Modelar una plataforma digital con las cartas topográficas a escala 1:20 000 y temáticas de INEGI, así como elaborar capas de información con el software ArcGis v10.3.

Delimitar las microcuencas de las cuatro subcuencas: San Juan (RH24Bb), Pesquería (RH24Bc), Salinas (RH24Bd) y Santa Catarina (RH24Bf), con influencia hidrológica en la ZMM.

Analizar los parámetros morfométricos e hidrológicos de las microcuencas, pertenecientes a las subcuencas de los ríos: San Juan (RH24Bb), Pesquería (RH24Bc), Salinas (RH24Bd), y Río Santa Catarina (RH24Bf), que influyen principalmente en los municipios centrales de la Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM): Apodaca, General Escobedo, Guadalupe, Monterrey, San Pedro Garza García, Juárez, San Nicolás de los Garza y Santa Catarina.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó a nivel de microcuencas pertenecientes a las subcuencas de los ríos: San Juan (RH24Bb), Pesquería (RH24Bc), Salinas (RH24Bd), y Santa Catarina (RH24Bf), las que a su vez pertenecen a la Cuenca Río San Juan, la cual es una de las 37 cuencas de la Región Hidrológica 24 Rio Bravo-Conchos (RH24) (CONAGUA, 2016).

El primer paso para el análisis de la dinámica de aguas consistió en la separación de unidades hidrográficas que permitieran predecir y localizar los fenómenos en forma especializada; para ello se utilizaron los criterios generales de sectorización de cuencas, como una herramienta para distinguir y jerarquizar el conjunto de redes de acuerdo con su importancia, el cual tuvo como principal concepto la delimitación de la unidad receptora de aguas superficiales. Es así como el análisis parte de unidades grandes, las cuales se van subdividiendo

en sectores pequeños, que guardan como característica física la línea divisoria de aguas entre un sector y otra microcuenca. Cuando se trata de microcuencas más pequeñas dos o más de ellas pueden ser atendidas como “una sola” esto es aplicable si comparten características físicas en común, como un parteaguas que en otras circunstancias las dividiría, así como una desembocadura en la misma red hidrológica, para fines de atención institucional y aumentar el impacto de las acciones, se consideró que por lo menos debe de haber una comunidad amanzanada en cada microcuenca.

Posterior a la delimitación se les asignó una nomenclatura adicional, basada en la utilizada por CONAGUA para nombrar y ubicar sus subcuencas, en la que se le agrega un número de menor a mayor, conforme la superficie se va reduciendo, por ejemplo, la microcuenca RH24Bf1 tiene una mayor superficie en comparación con la RH24Bf35 que posee una superficie más pequeña.

Los parámetros morfométricos determinados fueron: factor de forma (Ff), índice de circularidad (Ic) y coeficiente de compacidad (Kc), los cuales fueron comparados con rangos que nos permiten determinar la forma y la tendencia a la inundación (Cuadro 1).

Cuadro 1. Parámetros morfométricos (Rodríguez, 2014).

Factor de Forma	Índice de circularidad	Coficiente de compacidad
$Ff = \frac{A}{L^2}$	$Ic = 12.57 \cdot \left(\frac{A}{p^2}\right)$	$Kc = 0.28 \cdot \left(\frac{P}{\sqrt{A}}\right)$

(A=área, P=perímetro, L=longitud del cauce principal).



Cuadro 2. Interpretación de los parámetros morfométricos (Villegas y Matos, 1975).

Ff	Ic	Kc	Formato de Cuenca	Interpretación Ambiental	
1-0.75	1-0.80	1-1.25	Circular	Alta tendencia a inundación	A
0.75-0.50	0.80-0.60	1.25-1.50	Ovalada	Mediana tendencia a inundación	B
0.50-0.30	0.60-0.40	1.50-1.70	Oblonga	Baja tendencia a la inundación	C
<0.30	<0.40	>1.70	Larga	Cuencas propensas a la conservación	D

La densidad de drenaje (Dd) se determinó por medio de la siguiente fórmula:

$$Dd = \frac{\sum Lc}{A}$$

en donde, Lc es la longitud total de la red hidrológica dentro de la microcuenca.

Cuadro 3. Interpretación de valores de la Densidad de drenaje. (Dd).

Valores de Dd	Interpretación	Interpretación ambiental de la cuenca
<1.5	BAJA	BAJA ESCORENTIA Y ALTA INFILTRACION TENDENCIA
1.5-2.5	MEDIA	MEDIA A LA ESCORENTIA ALTA
2.5-3	ALTA	TENDENCIA A LA ESCORENTIA ALTA
>3	MUY ALTA	TENDENCIA A ESCORENTIA Y EROCIÓN

Para realizar los análisis se utilizó la plataforma digital modelada en el software Mapa digital de México para Escritorio v6.3.0 desarrollado por INEGI, en el que se tienen descargadas las capas de información elaboradas en ArcGIS v10.3.

Resultados y Discusión

En la subcuenca Río San Juan (RH24Bb) se delimitaron nueve microcuencas

(Figura 1), las cuales presentan formas: ovaladas, oblongas y alargadas (Cuadro 4). Solo dos microcuencas se clasificaron como ovaladas, por lo que en general, existe baja tendencia a inundaciones. El resto de las microcuencas son de forma oblonga o alargada con baja o nula tendencia a presentar inundaciones.

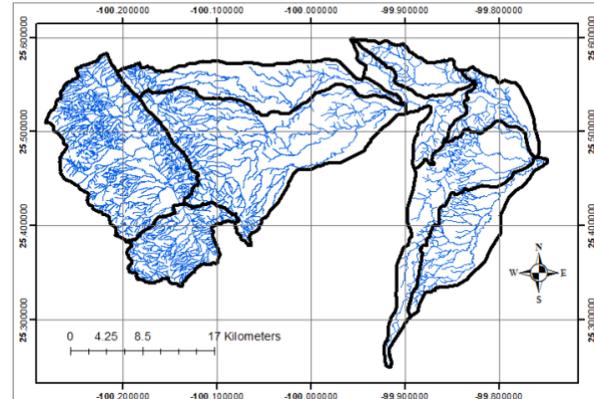


Figura 1. Delimitación y red hidrológica de las microcuencas del Río San Juan.

Cuadro 4. Morfometría de las microcuencas. Subcuenca Río San Juan.

	FF	IC	KC
CIRCULAR	0	0	0
OVALADA	0	0	2
OBLONGA	2	3	3
LARGA	7	6	4

La densidad de drenaje de las microcuencas del Río San Juan (Cuadro 5) presentan: dos con muy alta tendencia a la escorrentía y erosión, cuatro con tendencia media a escorrentía y tres restantes con baja escorrentía y alta infiltración.

Cuadro 5. Rangos de densidad de drenaje de las microcuencas. Subcuenca Río San Juan.

Interpretación de la Densidad de Drenaje	Microcuencas
Muy alta	2
Alta	0
Media	4
Baja	3

Las microcuencas RH24Bb2 y RH24Bb6 presentan forma ovalada, según el coeficiente de compacidad, así como una



muy alta densidad de drenaje, por lo que tendrían los mayores riesgos a erosión y crecidas repentinas.

En la subcuenca Río Pesquería (RH24Bc) se delimitaron 19 microcuencas (Figura 2), las cuales presentan formas: circulares, ovaladas, oblongas y alargadas (Cuadro 6). Una microcuenca se clasificó como circular, la cual tiene una alta tendencia a inundaciones. En las microcuencas restantes los tres índices morfométricos indican microcuencas tipo ovaladas, con tendencia media a inundaciones, así como oblongas y alargadas, con una tendencia baja de inundaciones, de acuerdo a su morfometría.

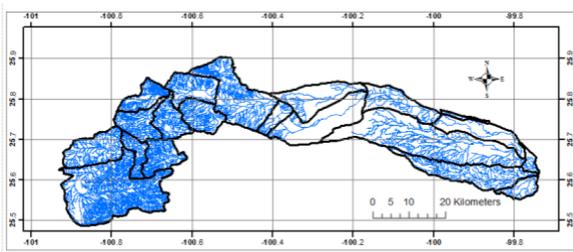


Figura 2. Delimitación y red hidrológica de las microcuencas del Río Pesquería.

Cuadro 6. Morfometría de las microcuencas, Río Pesquería.

	FF	IC	KC
CIRCULAR	0	0	1
OVALADA	2	2	8
OBLONGA	7	9	7
ALARGADAS	10	8	3

La densidad de drenaje del total de las microcuencas del Río Pesquería (Cuadro 7) presentan: seis microcuencas con muy alta tendencia a la escorrentía y erosión, cuatro con alta tendencia a la escorrentía, cuatro con tendencia media a la escorrentía y cinco restantes con baja tendencia a escorrentía y alta infiltración.

Cuadro 7. Rangos de densidad de drenaje de las microcuencas. Subcuenca Río Pesquería.

Interpretación de Densidad de Drenaje	Microcuencas
Muy Alta	6
Alta	4
Media	4
Baja	5

Las microcuencas RH24Bc7, 10, 12, 13, 14 y 15 presentan formas ovaladas y circulares, así como una densidad de drenaje alta y muy alta, por lo que éstas presentan un mayor riesgo a erosión y crecidas repentinas.

En el Río Salinas se delimitaron 30 microcuencas (Figura 3), las cuales presentan formas: circulares, ovaladas, oblongas y alargadas (Cuadro 8). Una microcuenca presentó forma circular por lo que tiene una alta tendencia a inundaciones. Dieciséis microcuencas se clasificaron como ovaladas, lo que nos indica una tendencia media a escorrentía repentina. En todos los índices se presentaron formas oblongas y alargadas, con baja tendencia a inundaciones.

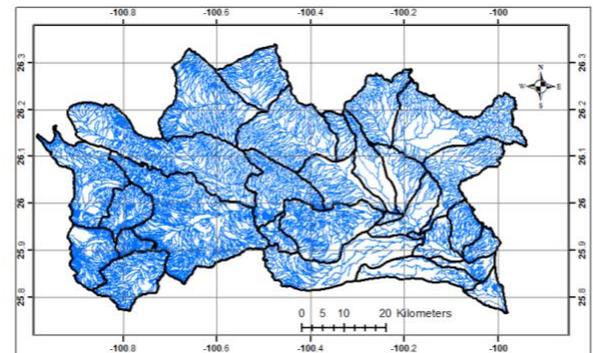


Figura 3. Delimitación y red hidrológica de las microcuencas del Río Salinas.



Cuadro 8. Morfometría de las microcuencas, Río Salinas.

	FF	IC	KC
CIRCULAR	0	0	1
OVALADA	0	1	15
OBLONGA	10	19	7
ALARGADAS	20	10	7

Seis de las microcuencas fueron clasificadas con una densidad de drenaje muy alta, por lo que tiene una alta tendencia a inundaciones y erosión. Otras seis se presentan con una alta densidad y alta tendencia a escorrentía. El resto de las microcuencas presentan densidades medianas y bajas, lo que indica una baja tendencia a inundaciones e infiltración (Cuadro 9).

Cuadro 9. Rangos de densidad de drenaje de las microcuencas. Subcuenca Río Salinas.

Interpretación de la Densidad de Drenaje	Microcuencas
Muy alta	6
Alta	6
Media	13
Baja	5

Del total de microcuencas del Río Salinas, ocho de las mismas (RH24Bd4, 7, 12, 15, 19, 21, 26 y 28) presentan muy alta y alta densidad de drenaje, al mismo tiempo por lo menos un parámetro morfométrico las clasifica como alta tendencia a inundaciones.

En la subcuenca del Río Santa Catarina se delimitaron 35 microcuencas (Figura 4). Éstas presentan una morfometría variada (Cuadro 10). El Ff clasificó microcuencas principalmente alargadas (19) y oblongas (14), las cuales presentan baja tendencia a las inundaciones. El índice IC las clasifica principalmente como ovaladas (8) y oblongas (21), las cuales tienden a una mediana a baja probabilidad de presentar inundaciones. El índice KC clasificó

microcuencas como circulares (7), las cuales tienen alta tendencia a presentar inundaciones.

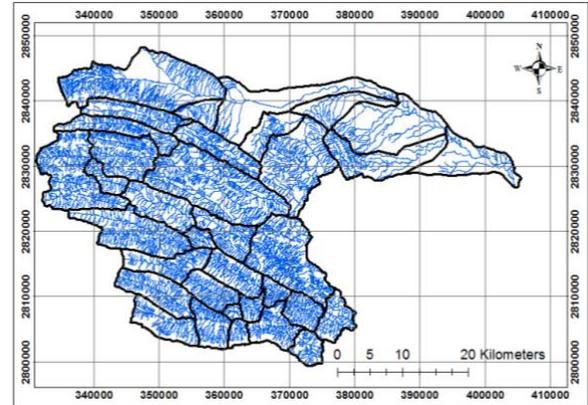


Figura 4. Delimitación y red hidrológica de las microcuencas del Río Santa Catarina. Cuadro 10. Morfometría de las microcuencas, Río Santa Catarina.

	FF	IC	KC
CIRCULAR	0	0	7
OVALADA	2	8	17
OBLONGA	14	21	7
ALARGADAS	19	6	4

La densidad de drenaje clasificó a 21 microcuencas con una densidad de drenaje muy alta, por lo que tienen una elevada tendencia a las inundaciones y erosión, así como seis con alta tendencia a la escorrentía. Las ocho microcuencas restantes tienen mediana a baja tendencia a escorrentía con un mayor grado de infiltración.

Cuadro 11. Rangos de densidad de drenaje de la Subcuenca Río Santa Catarina.

Interpretación de la Densidad de Drenaje	Microcuencas
Muy alta	21
Alta	6
Media	3
Baja	5

En total 20 microcuencas (RH24Bf1, 2, 4, 11, 12, 13, 18, 19, 21, 22, 24, 25, 26, 27,



28, 31, 32, 33, 34 y 35) presentan una alta y muy alta tendencia a inundaciones tanto por su morfometría y su densidad de drenaje.

Las microcuencas del Río Santa Catarina son las que presentan una alta y muy alta tendencia a las inundaciones, tanto por sus características morfométricas, como por su densidad de drenaje coincidiendo con el Mapa Nacional de Erosión Potencial, por medio de la densidad de drenaje (Montes, *et al.*, 2011), así como el Registro Histórico de inundaciones (Fuentes *et al.*, 2014) justo donde se ubican las microcuencas del Río Santa Catarina. Además de coincidir con otras zonas serranas del país con actividad antropogénica (SEMARNAT, 2013).

La subcuenca del Río Pesquería presentó baja tendencia a las inundaciones repentinas, lo que coincide con el Mapa de Erosión Potencial (Montes, *et al.*, 2011), que principalmente se presenta por la hidrología superficial. Por otro lado, el Registro Histórico de inundaciones señala algunas fechas en que se han presentado inundaciones, sin embargo éstas coinciden con eventos de extraordinarios de precipitación, así como el hecho de que uno de sus afluentes secundarios y parte del principal se localizan en plena ZMM (Fuentes, 2014).

Las Subcuencas del Río Salinas y del Río San Juan presentan una baja tendencia a la escorrentía y erosión hídrica, lo que coincide con el Mapa de Erosión Potencial (Fuentes, 2014). Los registros históricos en estos sitios son escasos debido a su relativamente nueva adición a la ZMM, en el 2015.

Conclusiones

Los problemas de inundaciones se concentran principalmente en la Subcuenca del Río Santa Catarina (RH24Bf) y en menor medida en la Subcuenca del Río Pesquería (RH24Bc).

Las Subcuencas del Río Salinas (RH24Bd) y Río San Juan (RH24Bb), presentan baja tendencia a las crecidas repentinas y erosión potencial. Las microcuencas que coinciden tanto en parámetros morfométricos como hidrológicos con problemas de escorrentía repentina, así como daños de erosión hídrica, deben ser prioritarias en la aplicación de programas de conservación y rehabilitación, con la finalidad de reducir su escorrentía superficial y erosión hídrica. En el caso de las microcuencas restantes se sugieren acciones preventivas para evitar complicaciones futuras.

Tanto en los casos de rehabilitación como en los de conservación (medidas preventivas) se sugiere el involucramiento de la población local, tanto de comunidades urbanas y rurales, ya que son ellos los primeros en ser afectados en la degradación de recursos.

Referencias bibliográficas

- Alatorre Monroy, Norberto (2007). La microcuenca como elemento de estudio de la vulnerabilidad ambiental. p. 2-3.
- Casillas, M. (2006). Programa Nacional de Microcuencas: Una Estrategia de Desarrollo Integral. El manejo integrado de cuencas en México. Estudios y reflexiones para reorientar la política ambiental. (p.1).
- Cerignoni, F. J., y Rodríguez, V. A. (2015). Análisis morfométrico de la microcuenca "C" núcleo Cunha, São Paulo, Brasil. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, (41), p.359-360.
- Comisión Nacional del Agua. (2016). Atlas del agua en México 2016. p. 14,15,20.
- Consorcio Río Garaboa, s/f, Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica. Colombia s/f, p. 8.



- Cotler Ávalos, H. (2010). Las cuencas hidrográficas de México: Diagnóstico y priorización (No. 333.730972 C8). p. 4.
- Fuentes, J. J. J. A. (2004). Análisis morfométrico de cuencas: Caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancítaro. Instituto Nacional de Ecología. México, p.9.
- Fuentes Mariles Óscar Arturo, Aragón Hernández José Luis, De Luna Cruz Faustino, Vélez Morales Laura, Morales Rodríguez Hipólito Lorenzo, Víctor Franco. (2014). Caracterización fluvial e hidráulica de las inundaciones en México, zona de estudio área metropolitana de Monterrey: ríos Pesquería, Santa Catarina y San Juan. México: Instituto de Ingeniería UNAM, CONAGU, p. -6,12.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010). Documento técnico descriptivo de la Red Hidrográfica Escala 1:50 000. p. 4.
- Lux Cardona, B. (2016) Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Montes-León, M. A. L., Uribe-Alcántara, E. M., y García-Celis, E. (2011). Mapa Nacional de erosión potencial. Tecnología y ciencias del agua, 2(1), pp. 05-17.
- Murillo, S. (2002). Estudio del efecto del cambio de uso de suelo en el escurrimiento en la Subcuenca 24bf Monterrey, aplicando un sistema de Información geográfica. Monterrey: ITESM. pp. 48, 93, 94.
- Rodríguez, V.A. (2014). Evaluación de procesos hidrológicos en cuencas hidrográficas. Tesis Prof. Diputado Universidad Estatal Paulista, Facultad de Ciencias Agronómicas. UNESP. Botucatu San Pablo. Brasil p. 125.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). (2013). Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. Indicadores clave y de desempeño ambiental.
- Villela, S. M., & Mattos, A. (1975). Hidrología aplicada. Editora McGraw-Hill do Brasil.



DOCTORADO
SEMESTRE I

**Evaluación de calidad de uva mediante adquisición,
procesamiento de imágenes hiperespectrales y
aprendizaje de máquina**

Héctor Flores Breceda, Alejandro Isabel Luna Maldonado, Humberto Rodríguez Fuentes, María del Carmen Ojeda Zacarías y Beatriz Adriana Rodríguez Romero.

Facultad de Agronomía, UANL. Av. Francisco Villa S/N, Col. Ex Hacienda el Canadá,
Email: hector.floresbrc@uanl.edu.mx

Resumen: La producción de racimos de uva y principalmente el consumo de vino se ha incrementado en los últimos 10 años a 1.946 L por persona. Por lo anterior, los productores Nuevo León, están buscando microclimas adecuados para cultivar la uva y producir vino. El desarrollo de la uva para este estudio es crucial en la etapa de envero donde los racimos de uva alcanzan su nivel óptimo de acidez y posteriormente los azúcares aumentan hasta su maduración. Para la producción de vino, se requiere que los niveles adecuados de concentración de antocianina y azúcares para producir vino de calidad, sin embargo, una limitante son las técnicas empleadas por ser lentas y destructivas. Debido a esto, se desarrollará un sistema de adquisición y procesamiento de imágenes hiperespectrales de los racimos de uvas, para estimar su calidad y establecer una metodología que permita tomar decisiones en campo para la cosecha de uva.

Palabras clave: Antocianinas, pH, Sólidos solubles totales, Procesamiento de imágenes hiperespectrales, Inteligencia artificial.

Abstract: The production of grape clusters and mainly the consumption of wine has increased in the last 10 years to 1,946 L per person. For the above, the producers of Nuevo León, are in the pursuit for suitable microclimates to keep growing the grapes and produce wine. The importance of the development of the grape for this study is crucial in the growth stage of the veraison where the grape clusters reach their optimum level of acidity and later the sugars increase until their maturation. To produce wine, it is required that the concentration levels of anthocyanin and sugars be adequate to produce quality wine, however, a limitation is the techniques used to determine them, which are slow and destructive. Due to the above, a hyperspectral image acquisition and processing system for grape clusters will be developed to estimate their quality and establish a methodology that allows decisions to be made in the field for harvesting the grape clusters.

Key words: Anthocyanin, pH, Total soluble solids, Hyperspectral imaging, Artificial intelligence



Introducción.

La cosecha de uva relacionada con la producción de vino ha tenido mucha relevancia en los mercados nacionales e internacionales. México dispone de una superficie de 33, 691.53 mil hectáreas para la producción de uva, comercializándose de las siguientes formas: uva de mesa 66%, uva pasa 11% y la uva de vino con 23%, siendo los dos estados con mayor producción: Baja California (71.6%) y Coahuila (10.5%), mientras que el estado de Nuevo León produce 0.65%. En México durante el año 2018 se tuvo un consumo per cápita cercano a los 1.946 L de vino (CMV, 2019).

Conocer las etapas de crecimiento de la uva es importante, por eso, OSUE (2005) las estableció de la siguiente manera: a). Después de la polinización se presenta una división celular y un crecimiento de los racimos de uva. b) Se presenta un crecimiento lento, empiezan a tomar color los racimos de uva; así como también hay un rápido crecimiento de brotes y hojas. c) En los racimos de uvas los niveles de ácido disminuyen y los azúcares aumentan hasta la época de maduración y cosecha.

Para la producción de vino de calidad se requiere de una selección adecuada de los racimos de uva de los cultivares (Kallithraka *et al.*, 2005), los cuales deben de tener la maduración adecuada con el fin de obtener una buena composición fenólica (principalmente la antocianina) que proporcione estos antioxidantes al vino (Makris *et al.*, 2007)

De acuerdo con Fernandes *et al.* (2011) la acumulación de antocianinas (envero) en los racimos de uva depende de: la variedad de esta, el tipo suelo, condiciones climáticas que se presenten durante la maduración de sus frutos y el estado del agua en la planta. Los parámetros del color del vino producido están en función

de las variables así como de la apreciación visual de la uva y la concentración de antocianina (Monagas *et al.*, 2006).

Las antocianinas y los sólidos solubles totales (TSS, por sus siglas en inglés) son parámetros medibles en los racimos de la uva (Parker *et al.*, 2015) para conocer la relación de la concentración de alcoholes y azúcares fermentables necesarios para producir el vino. La antocianina es identificada en la piel de la uva roja y es un pigmento hidrosoluble importante, que da el color rojizo al vino tinto (Gutiérrez *et al.*, 2019)

Los compuestos fenólicos se clasifican en flavonoides y no flavonoides (Diago *et al.*, 2014). Los compuestos flavonoides están formados por esqueletos de base de 15 átomos de carbono (C6-C3-C6) del tipo 2-fenil-benzopirona (Rebollo, 2007), donde los compuestos fenilo (A y B) están ligados a través de un anillo C de Pirano heterocíclico, (Figura 1)

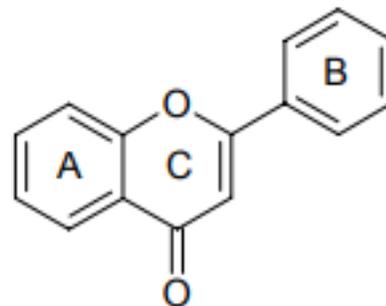


Figura 1. 2-fenil-benzopirona.

Las antocianinas se diferencian por el grado de oxidación de núcleo pirano (Quiñones *et al.*, 2012). Encontrándose en éstas los polifenoles que por sus concentraciones y propiedades específicas forman la composición de los vinos y se clasifican en antocianos, taninos y flavonoles (Hosu *et al.*, 2014). Los compuestos anteriores son denominados materias tanoideas, quienes les dan a los vinos la sensación de astringencia en la lengua (Agostini, 2018).



Las antocianinas se determinan tradicionalmente con los métodos de diferencia de pH o por HPLC (Cromatografía de líquidos a alta presión, por sus siglas en inglés), los cuales requieren un tiempo importante para su análisis y son destructivos. (Gu *et al.*, 2018).

Actualmente, están emergiendo técnicas no destructivas para la cuantificación de compuestos fenólicos, las cuales demandan menos tiempo y dinero tales como la adquisición y el procesamiento de imágenes hiperespectrales (HSI, por sus siglas en inglés) (Benedetti, *et al.*, 2016). El HSI es una técnica innovadora que combina las propiedades de la imagen digital con las de la espectroscopia. Así, es posible detectar la firma espectral de cada píxel de la imagen adquirida en diferentes regiones de longitud de onda del espectro (visible, infrarrojo cercano, corto, etc.) de acuerdo con las características del dispositivo de detección seleccionado (Cubero *et al.*, 2011). El análisis de los datos de las imágenes hiperespectrales adquiridas se puede realizar con el uso de redes neuronales (Bishop, 1995), los cuales son algoritmos para estimar la concentración de antocianinas en la piel de la uva durante el envero (Lamb *et al.*, 2004; Fonseca *et al.* 2003). El HSI permite realizar de manera rápida un control analítico de parámetros físico-químicos de la uva, al tiempo de la cosecha para obtener un producto de buena calidad en su procesamiento (Novales, 2009).

González *et al.* (2012) utilizaron un espectrómetro de mano modelo NIR-MEMs, el cual tiene un excelente potencial de monitoreo y evaluación de racimo por racimo, en función de la maduración en vid, también sus resultados mostraron que la tecnología (NIRS) permite la cosecha selectivamente de racimos de uva dependiendo del tipo de vino a elaborar.

Zouid, *et al.* (2010) estudiaron la evolución que tienen las propiedades mecánicas de las uvas Cabernet Franc, durante su maduración, pertenecientes a tres viñedos diferentes regiones. Para ello realizaron pruebas reológicas (compresión y punción) en las uvas y analizaron estos cambios en su madurez con la capacidad de extracción de antocianinas en la piel. Determinando que, las uvas con mayores fuerzas de rotura de la piel producen extractos con mayores contenidos totales de antocianinas

Azuma *et al.* (2019) encontraron que en postcosecha el tratamiento con irradiación de luz (luz blanca + luz ultravioleta o luz LED azul) y una temperatura óptima (15-20°C) pueden mejorar la acumulación de antocianinas sin tener una disminución de la acidez titulable y peso del racimo.

Piazzolla *et al.* (2013) indicaron que el HSI de los racimos tiene un excelente potencial para evaluar las uvas en función del tiempo de cosecha. Para la clasificación usaron el modelo PLS-DA, el cual clasificó correctamente todas las muestras.

Katari *et al.* (2009) modificaron un HSI en el cual un microscopio extiende sus capacidades al cercano infrarrojo (950-1300 nm) e instalaron una cámara con dispositivo de carga acoplada (CCD, por sus siglas en inglés) a lentes, filtros y rejilla para la entrada de la luz reflejada, para longitudes de onda infrarrojas, aplicada a las células de la línea celular de carcinoma de mama.

Rodríguez *et al.* (2013) caracterizaron con un HSI las semillas de uva teniendo en cuenta sus atributos químicos en relación con la variedad y la etapa de maduración. HSI pudo predecir la variedad y la etapa de maduración de las muestras analizadas.

Mehrubeoglu *et al.* (2016) Identificaron la enfermedad de la mancha roja en la hoja de la vid por medio de HSI, empleando longitudes de banda entre 530 y 1500 nm útiles para separar los cambios de



pigmentación y el contenido de agua en la hoja, considerando diferentes variaciones del estado de la hoja: verde, con la enfermedad, dañada por el sol y el gris.

Gu, *et al.* (2018) ajustaron su modelo hiperespectral a la función de potencia de la reflectividad (P) inversa ($\lg P$); encontrando los coeficientes de determinación más altos entre todos los modelos hiperespectrales.

Mehrubeoglu *et al.* (2015) al emplear el procesamiento de imágenes hiperespectrales para diferenciar el material extraño en el empaque del frijol pinto. Como resultado obtuvieron que las manchas del frijol y el grano de frijol no son visiblemente diferenciables en las longitudes de onda más altas, aunque sí lo son ciertos materiales extraños.

En Nuevo León, algunos vitivinicultores están haciendo enormes esfuerzos para producir uva y vino de buena calidad a pesar de las condiciones climáticas, suelo, agua y plagas, por lo cual la aplicación de HSI en el espectro NIR son una herramienta muy importante para el monitoreo y control de la calidad de la uva (maduración) en esta industria, y para que en un futuro cercano se realice su implementación con vehículos tripulados y no tripulados.

Hipótesis

Aplicar los conocimientos y habilidades ingenieriles se construya una plataforma giratoria para que la cámara hiperespectral pueda determinar la calidad de la uva a través de generar su firma hiperespectral.

Objetivo general

Desarrollar una plataforma giratoria empleando una estructura mecánica, cámara y programas computacionales es para la adquisición de imágenes hiperespectrales de racimos de uvas; así como el procesamiento de los datos

espaciales y espectrales obtenidos para la estimación de la calidad de la uva.

Objetivos específicos

- Diseñar una plataforma giratoria que haga rotar la uva y los racimos de uva, sincronice la adquisición de imágenes hiperespectrales y el escaneo total de la superficie de la uva y los racimos de uva.
- Determinar las características espaciales y espectrales de dos variedades de uva (Merlot y Cabernet Sauvignon) bajo condiciones de iluminación en ambiente controlado.
- Comparar el rendimiento y precisión de PCA, PLS-DA, redes neuronales y lógica difusa en la detección de uvas y racimos de uva.

Materiales y Métodos

Localización del estudio

Los sitios experimentales serán los siguientes:

Viñedo Garza Moschen

El Viñedo Garza Moschen (Figura 2) está localizado en el municipio de Allende N.L. ubicada en las coordenadas geográficas Latitud 25°13'58.03" N y Longitud 100° 2'30.21" W,





Figura 2. Ubicación de Viñedo Garza-Moschen
(Google Earth).

Viñedo Linares

El viñedo Linares (Figura 3) está localizado dentro del Centro de Investigación en Producción Agropecuaria (CIPA-UANL) localizado en el municipio de Linares N.L. ubicada en las coordenadas geográficas Latitud 24°47'42.45" N y Longitud 99°31'49.68" O,



Figura 3. Ubicación de Viñedo CIPA-UANL
(Google Earth).

Material vegetal y configuración experimental

En este estudio se trabajará con dos tipos de uvas Cabernet sauvignon y merlot. Algunas características de estas variedades de uva son: Para Salazar *et al.* (2005) la cabernet sauvignon tiene racimos pequeños de forma cónica, de tamaño de baya muy uniforme y pequeña, de sección circular y epidermis azulada, su ventaja es que no requiere un tipo de suelo en específico y como desventajas, es que no evoluciona bien su maduración con sequías marcadas, y para la variedad merlot para Catania y Avagnina, (2007) consideran a ésta similar a la cabernet sauvignon en sus características físicas y de adaptación, pero con algunas variaciones en sus características químicas.

El considerar estas dos variedades es porque se manejan en los viñedos considerados para la experimentación, de las cuales se obtendrán características físicas, químicas y reológicas de las uvas o de los racimos de uvas necesarias para establecer la diferencia en el proceso de maduración de la uva que impacte en la calidad de los productos.

La toma de muestras se realizará en la etapa de envero de la uva que se da en la región, por lo que en el Cuadro 1 se muestran las fechas y tamaño de muestra:

Cuadro 1. Calendario de muestreo.

Fecha	Periodo semanal	Muestra
Junio	Cuarta	100 Cabernet
Julio	Todo el mes	sauvignon
Agosto	Primera	100 Merlot

De los viñedos se les registrará sus actividades agrícolas y datos climatológicos hasta el último muestreo

Las muestras se llevarán al laboratorio y se conservarán en cuarto frío a la temperatura de -20°C, las cuales serán descongeladas a temperatura ambiente hasta que alcancen una temperatura de 2°C (Jaren *et al.*, 2011); posteriormente se obtendrán las imágenes hiperespectrales y se realizarán los análisis en cada etapa del muestreo.

Suelo

Para evaluar la fertilidad de suelo se tomarán diez muestras de un kilo de peso distribuidas en el área del cultivo, a una profundidad de 0 a 30 cm para medir el pH y estimar la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo, así como los siguientes nutrientes:

- Primarios (N, P, K)
- Secundarios (S, Mg, Ca)



- Micro (Fe, Mn, B, Cl, Zn, Cu, Mo)
- Materia orgánica

Agua de riego

Se tomarán dos muestras de agua de riego y se les realizarán los siguientes análisis dependiendo de la fuente de abastecimiento:

- Conductividad eléctrica (CE) o Sales Totales
- Relación de adsorción de sodio (RAS).
- Aniones y Cationes presentes,
- Carbonato de sodio residual (CSR).
- Porcentaje de Sodio Soluble (PSS)

Cámara hiperespectral

El sistema consta de una cámara Pike F-210B y un espectrógrafo V10E (Figura 4) capaz de tomar imágenes a una resolución espacial de 1392x1040 píxeles, con un rango espectral de 400 a 1000 nm con intervalos de 2.8 nm y una ranura de 30 μm .



Figura 4. Cámara Pike F-210B acoplada al espectrógrafo V10E.

Para este proyecto se propone el diseño ingenieril y construcción de un sistema giratorio automático para adquirir imágenes de toda la superficie de la uva o de sus racimos, acoplando la cámara hiperespectral. El diseño del sistema constará de tres estructuras (Figura 5):

La primera será un soporte horizontal (de preferencia de aluminio) donde sea colocada la cámara hiperespectral, así se obtendrán varias alturas de ajuste

La segunda será un soporte construido de perfil tubular recto de aluminio (con dimensiones entre soporte de 30cm X 30 cm y altura de 15 cm) donde se colocarán las lámparas con la potencia necesaria para eliminar los ruidos de la imagen.

La tercera será una plataforma que contendrá un motor rotatorio donde será colocado el espécimen (uva o racimo); haciéndolo girar para que se cubra toda su superficie.

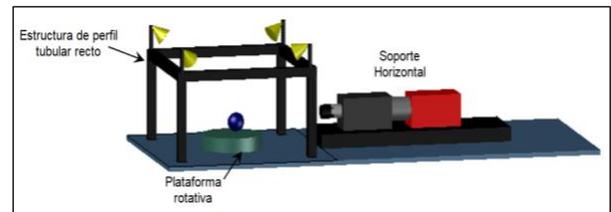


Figura 5. El prototipo del equipo.

Métodos de Análisis

Antocianinas

Para cuantificar la antocianina se usará el 50% de las muestras tomadas de las dos variedades de uva en estudio y se usará el método de Talemi y Sedaghatthoor (2017) se molerán 0.5 g de la muestra en un mortero que contendrá 50cc de etanol-ácido clorhídrico (85 partes de etanol al 95% + 15 partes de ácido clorhídrico). Entonces, el extracto se filtrará, se ajustará a 50 cc y se verterán en cubetas. Las cubetas se colocaron en un refrigerador a 4 ° C durante 24 horas seguido de la colocación en la oscuridad durante dos horas. Para medir el contenido de antocianina, los extractos se leerán a 535 nm con un espectrofotómetro y la ecuación de Mazumdar y Majumder (2003):



Antocianina total (% en la muestra) =
(Absorción total de la muestra)/98.2

Sólidos solubles totales

Para analizar este parámetro se utilizarán las mismas muestras que fueron utilizadas para determinar la antocianina.

Para medir los TSS (° Brix), se extraerá el jugo de la uva y se verterá en un recipiente sensible placa de vidrio del refractómetro (Luzeren, modelo REF107), la tapa se cerrará, se colocará una placa de vidrio frente a la radiación, y después de leer el número Brix.

Adquisición y procesamiento de las imágenes

Las uvas o sus racimos para investigar se colocan sobre una plataforma circular giratoria (con diámetro de 20 cm y una elevación de su base de aproximadamente 3.0 cm) con velocidad ajustable y capacidad de rotación en 360°. La adquisición de bandas espectrales se realizará de forma continua o a intervalos de tiempo específicos. La fuente de iluminación utiliza una arquitectura de cilindro de luz difusa, optimizada para el NIR (es decir, cilindro de alojamiento con revestimiento interno de aluminio), que incorpora cuatro lámparas halógenas.

Adquiridas las imágenes de las uvas o de los racimos, se relacionarán con las concentraciones de antocianina para después encontrar su firma espectral.

Las imágenes hiperespectrales adquiridas se procesarán utilizando el PLS y el PCA que se ejecutan dentro de Matlab® (The Mathworks, Inc.). La ventaja de usar el PLS es que se puede aplicar cuando el número de observaciones es bajo y cuando el número de variables explicativas es alto, así como también, cuando faltan valores el análisis se puede aplicar a los datos disponibles.

El método de PLS-DA se empleará para la construcción del modelo predictivo de la

variable de interés (Y) que estará relacionada con las concentraciones de antocianinas y todas las variables de explicativa (X) tomadas de las características químicas, físicas y reológicas de la uva consideradas como altamente colineales. Por lo que la matriz de valores X es sustituida por una matriz de variables latentes (VL), que busca maximizar la varianza explicada entre grupos en una sola dimensión, las cuales son a su vez realizan combinaciones lineales de los vectores x que maximizan la covarianza de la matriz Y, ajustando por mínimos cuadrados tanto las variables latentes como los coeficientes de regresión, con un coeficiente alto de determinación (R₂). Lo que se buscara en este trabajo es la máxima correlación entre los espectros de las variables explicativas X y la propiedad a determinar o variable de interés Y.

El uso del cálculo de la validación cruzada tiene la capacidad de predecir los posibles modelos para determinar el número adecuado de variables latentes que deberán conservar para el modelo de calibración (Ramonda, 2009)

Plan de trabajo y calendarización

Cuadro1. Cronograma de actividades.

Actividades a realizar	1er Año		2do Año		3er Año	
	Semestre 1	2	1	2	1	2
Revisión de literatura y reporte	[Barra azul continua]					
Toma de muestras de suelo y agua del sitio experimental	[Barra azul]					
Toma de muestras de racimos de uva	[Barra azul]					
Diseño y construcción de prototipo de plataforma giratoria	[Barra azul]					
Desarrollo de programas para implementar algoritmos de redes neuronales y PCA	[Barra azul]					
Análisis de suelo y agua		[Barra azul]				
Análisis de racimos de uva		[Barra azul]				
Integración de la adquisición de imágenes e integración de pruebas de laboratorio			[Barra azul]	[Barra azul]	[Barra azul]	
Redacción de documentos	[Barra azul continua]					

Cuadro 2. Desglose financiero.



Conceptos	Cantidad	Total
Reactivos necesarios para análisis de uva	1 Lote	\$ 15,750.00
Reactivos necesarios para analisis de suelo y agua	1 Lote	\$ 7,700.00
Materiales y Dispositivos para prototipo	1 Lote	\$ 30,000.00
Gastos por viaticos		\$ 8,000.00
TOTAL FINAL		\$ 61,450.00

Referencias Bibliográficas

- A. Ulrici, S. Serranti, C. Ferrari, D. Cesare, G. Foca and G. Bonifazi, "Efficient chemometric strategies for PET-PLA discrimination in recycling plants using hyperspectral imaging", *Chemometr. Intell. Lab. Syst.* 122, 31–39 (2013).
- Agostini, G. L. (2018). Efecto del uso de enzimas pectolíticas sobre el color del vino (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ciencias Agrarias).
- Azuma, A., Yakushiji, H., & Sato, A. (2019). Postharvest light irradiation and appropriate temperature treatment increase anthocyanin accumulation in grape berry skin. *Postharvest biology and technology*, 147, 89-99.
- Benedetti, M., Cesarotti, V., Introna, V., & Serranti, J. (2016). Energy consumption control automation using Artificial Neural Networks and adaptive algorithms: Proposal of a new methodology and case study. *Applied Energy*, 165, 60-71.
- Bishop, C. M. (1995). *Neural networks for pattern recognition*. Oxford university press.
- Catania, C., & Avagnina, S. (2007). El análisis sensorial. EEA Mendoza. INTA, 15.
- Consejo Mexicano de Vitivinicultores 2019 (CMV,2019)
- Cubero, S., Aleixos, N., Moltó, E., Gómez-Sanchis, J., & Blasco, J. (2011). *Advances in machine vision applications for automatic inspection and quality evaluation of fruits and vegetables*. Food and bioprocess technology, 4(4), 487-504.
- Diago, M., & Tardáguila, J. (2014). Aplicación de tecnologías no invasivas en viticultura de precisión. I Jornadas del Grupo de Viticultura y Enología de la SECH, 1, 107-113.
- Moura, J. P., Oliveira, A. A., Falco, V., Correia, M. J., & Melo-Pinto, P. (2011). Determination of anthocyanin concentration in whole grape skins using hyperspectral imaging and adaptive boosting neural networks. *Journal of Food Engineering*, 105(2), 216-226. (Introducción)
- Fonseca, D. J., Navarrese, D. O., & Moynihan, G. P. (2003). Simulation metamodeling through artificial neural networks. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 16(3), 177-183.
- González-Caballero, V., Sánchez, M. T., Fernández-Novales, J., López, M. I., & Pérez-Marín, D. (2012). On-vine monitoring of grape ripening using near-infrared spectroscopy. *Food analytical methods*, 5(6), 1377-1385.
- Gu, X., Cai, W., Fan, Y., Ma, Y., Zhao, X., & Zhang, C. (2018). Estimating foliar anthocyanin content of purple corn via hyperspectral model. *Food science & nutrition*, 6(3), 572-578.
- Gutiérrez, S., Tardáguila, J., Fernández-Novales, J., & Diago, M. P. (2019). On-the-go hyperspectral imaging for the in-field estimation of grape berry soluble solids and anthocyanin concentration. *Australian journal of grape and wine research*, 25(1), 127-133.
- Hosu, A., Cristea, V. M., & Cimpoi, C. (2014). Analysis of total phenolic, flavonoids, anthocyanins and tannins content in Romanian red wines:



- Prediction of antioxidant activities and classification of wines using artificial neural networks. *Food chemistry*, 150, 113-118.
- Hu, S. Serranti, N. Fraunholz, F. Di Maio and G. Bonifazi, "Recycling-oriented characterization of polyolefin packaging waste", *Waste Manage.* 33, 574–584 (2013).
- Kallithraka, S., Mohdaly, A. A. A., Makris, D. P., & Kefalas, P. (2005). Determination of major anthocyanin pigments in Hellenic native grape varieties (*Vitis vinifera* sp.): association with antiradical activity. *Journal of Food Composition and Analysis*, 18(5), 375-386.
- Katari, S., Wallack, M., Huebschman, M., Pantano, P., & Garner, H. (2009). Fabrication and evaluation of a near-infrared hyperspectral imaging system. *Journal of microscopy*, 236(1), 11-17.
- Lamb, D. W., Weedon, M. M., & Bramley, R. G. V. (2004). Using remote sensing to predict grape phenolics and colour at harvest in a Cabernet Sauvignon vineyard: Timing observations against vine phenology and optimising image resolution. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 10(1), 46-54.
- Makris, D. P., Boskou, G., & Andrikopoulos, N. K. (2007). Polyphenolic content and in vitro antioxidant characteristics of wine industry and other agri-food solid waste extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20(2), 125-132.
- Mehrubeoglu, M., Orlebeck, K., Zemlan, M. J., & Autran, W. (2016, May). Detecting red blotch disease in grape leaves using hyperspectral imaging. In *Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery XXII* (Vol. 9840, p. 98400D). International Society for Optics and Photonics.
- Mehrubeoglu, M., Zemlan, M., & Henry, S. (2015, September). Hyperspectral imaging for differentiation of foreign materials from pinto beans. In *Imaging Spectrometry XX* (Vol. 9611, p. 96110A). International Society for Optics and Photonics.
- Monagas, M., Martín-Álvarez, P. J., Bartolomé, B., & Gómez-Cordovés, C. (2006). Statistical interpretation of the color parameters of red wines in function of their phenolic composition during aging in bottle. *European Food Research and Technology*, 222(5-6), 702-709.
- Novalés, J. F. (2009). Determinación de parámetros de calidad de uvas, mostos en fermentación y vinos mediante espectroscopía ultravioleta-visible y de infrarrojo cercano (Doctoral dissertation, Universidad de Córdoba).
- Parker, A. K., Hofmann, R. W., van Leeuwen, C., McLachlan, A. R., & Trought, M. C. (2015). Manipulating the leaf area to fruit mass ratio alters the synchrony of total soluble solids accumulation and titratable acidity of grape berries. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 21(2), 266-276.
- Piazzolla, F., Amodio, M. L., & Colelli, G. (2013). The use of hyperspectral imaging in the visible and near infrared region to discriminate between table grapes harvested at different times. *Journal of Agricultural Engineering*, 44(2), e7-e7.
- Quiñones, M., Miguel, M., & Aleixandre, A. (2012). Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutrición hospitalaria*, 27(1), 76-89.
- R. Palmieri, G. Bonifazi and S. Serranti, "Recycling-oriented characterization



of plastic frames and printed circuit boards from mobile phones by electronic and chemical imaging”, *Waste Manage.* 34, 2120–2130 (2014).

- Rodríguez-Pulido, F. J., Barbin, D. F., Sun, D. W., Gordillo, B., González-Miret, M. L., & Heredia, F. J. (2013). Grape seed characterization by NIR hyperspectral imaging. *Postharvest Biology and Technology*, 76, 74-82.
- Ramonda, M. B. (2009). Desarrollo de un modelo basado en métodos estadísticos para la predicción del tiempo de maduración de Quesos Argentinos (Doctoral dissertation).
- Salazar, D., Melgarejo, P., & Vicente, A. M. (2005). Manejo del suelo. *Viticultura. TÁ©cnicas de cultivo de la vid, calidad de la uva y atributos de los vinos*, 201-208.
- Serranti, S., & Bonifazi, G. (2016, April). Hyperspectral imaging and its applications. In *Optical Sensing and Detection IV* (Vol. 9899, p. 98990P). International Society for Optics and Photonics.
- Zouid, I., Siret, R., Mehinagic, E., Maury, C., Chevalier, M., & Jourjon, F. (2010). Evolution of grape berries during ripening: Investigations into the links between their mechanical properties and the extractability of their skin anthocyanins. *OENO One*, 44(2), 87-99.



Bioestimulantes de microalgas a partir de residuos líquidos con potencial uso en la agricultura

Katty Shcarlen Hernández-Gaytán¹; Celestino García-Gómez¹; Juan Nápoles-Armenta¹; Julia Mariana Márquez-Reyes¹; Norma Alicia Ramos-Delgado²; Santiago Iván Suárez-Vázquez³; Juan Antonio Vidales-Contreras¹.

¹Facultad de Agronomía, UANL. Av. Francisco Villa S/N, Col. Ex Hacienda el Canadá.

²Centro de Investigación e Innovación Tecnológica del Instituto Tecnológico de Nuevo León-TecNM, Apodaca, N.L. México.

³Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil, Cd. Universitaria, Av. Universidad S/N, San Nicolás de los Garza 66455, Nuevo León, México.

Email: katty.gaytan@hotmail.com

Resumen: Producir microalgas tiene limitantes técnicas y económicas. Se reportan estrategias para mejorar el impacto económico en la producción de microalgas, por ejemplo, la reducción de costos al utilizar los nutrientes de las aguas residuales y métodos de cosecha eficientes. Se ha investigado el reciclaje de residuos para cultivar microalgas. Los lixiviados son residuos líquidos altos en nitrógeno (N) y fósforo (P), al igual que las aguas residuales animales, siendo estos requeridos para el crecimiento de microalgas. *Chlorella vulgaris* tolera las condiciones de los efluentes de las aguas residuales y es efectiva para la eliminación de nutrientes. Sin embargo, la cosecha de las microalgas representa un alto costo en la producción, por lo que se utilizan métodos como la biofloculación, creando biomasa alga-hongo. Lo que podemos llamar una economía circular (EC) al utilizar desechos líquidos como fuentes nutrientes para producir microalgas y esta biomasa generada utilizarla como bioestimulante en la agricultura.

Palabras clave: *Chlorella vulgaris*, economía circular, biomasa alga-hongo

Abstract: Producing microalgae has technical and economic limitations. Check out strategies to improve the economic impact on microalgae production, for example, reducing costs by using wastewater nutrients and efficient harvesting methods. The recycling of waste to cultivate microalgae has been investigated. Leachates are liquid liquids high in nitrogen (N) and phosphorus (P), like animal wastewater, these being required for the growth of microalgae. *Chlorella vulgaris* tolerates the conditions of wastewater effluents and is effective for nutrient removal. However, harvesting the microalgae represents a high cost in production, so methods such as biofloculation are used, creating algae-fungus biomass. What we can call a circular economy (EC) when using liquid waste as nutrient sources to produce microalgae and this generated biomass to use as a biostimulant in agriculture.

Keywords: *Chlorella vulgaris*, circular economy, algae-fungus biomass

Introducción

Según la perspectiva de las Naciones Unidas la población mundial alcanzará los 8,500 millones de personas para el año 2030 y 9,700 para el 2050 (Naciones Unidas, 2019). En muchas zonas del

mundo se tiene una escasez de alimentos, sin embargo, las aglomeraciones humanas, el desarrollo industrial y la explotación de los recursos naturales reducen el área que se utiliza para los cultivos (Badii, 2007). En los últimos años se ha incrementado la preocupación por el



agotamiento de los recursos naturales debido a su explotación (Grageda-Cabrera *et al.*, 2012). El ritmo del consumo de materias primas en los últimos años comprometerá la capacidad del mundo, sino se logra frenar la producción y el consumo. Desde los años 60 existe esta preocupación por la disponibilidad de los recursos y la calidad del medio ambiente (Carson, 2014; Cassen, 1987). Se definió en 1987 el desarrollo sostenible como: “satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones del futuro para atender sus necesidades” (Cassen, 1987). En los años 90 se entendía que la sostenibilidad se lograba al combinar tres dimensiones: economía, social y ambiental (Mebratu, 1998), sin embargo, recientemente se ha formulado que existe una cuarta dimensión: el tiempo, ya que las acciones hacia la sostenibilidad tienen impacto a corto, mediano y largo plazo (Lozano, 2008). En este contexto, se presenta como alternativa la Economía Circular (EC). La EC promueve el flujo cíclico para extraer, transformar, distribuir, utilizar y recuperar los materiales y la energía de productos y servicios disponibles (Prieto Sandoval, Jaca García, and Ormazabal, 2017). La EC tiene como objetivo generar prosperidad económica, proteger el medio ambiente y prevenir la contaminación, apoyando el principio de las 3 Rs (Reducir, Reusar, Reciclar) (Yuan *et al.*, 2008).

En el área agrícola se tiene como objetivo satisfacer una creciente demanda alimenticia, y para lograrlo se ocasionan pérdidas de la diversidad biológica, erosión del suelo, cambios climáticos, entre otras cosas. Esto trae consigo problemas económicos, sociales y ecológicos. Debido a estos motivos es que se buscan alternativas adecuadas, las cuales deben orientarse a mantener la sostenibilidad de los recursos naturales y preservar el medio ambiente. Uno de los

factores más importantes en la agricultura es la fertilidad del suelo. La deficiencia de nutrientes se corrige adicionando fertilizantes. Los cultivos solo absorben entre el 20 y 40% del fertilizante aplicado, lo que genera pérdidas económicas y contaminación ambiental (Grageda-Cabrera *et al.*, 2012).

Para cumplir con la demanda de alimentos se requiere de una gran cantidad de suelo, agua, energía y fertilizantes (Food Security: The Challenge of 2010). Las plantas necesitan principalmente de 16 elementos como, carbono (C), oxígeno (O) e hidrógeno (H) que forman parte de la estructura de la materia orgánica y de los elementos principales nitrógeno (N) y fósforo (P) (Finck, 1988).

Para la producción de los fertilizantes a base de nitrógeno se requiere del amoníaco, que es producido por el proceso Haber-Bosch (Santos and Pires, 2018). Producir 1 tonelada de amoníaco consume 52.8 MJ de energía y emite 3.5 toneladas de dióxido de carbono (CO₂) junto con otras emisiones (por ejemplo, óxido nitroso- N₂O) que tienen impacto en el calentamiento global (Froehlich, 2013; Kool, A., Marinussen, M. & Blonk, 2012). La explotación de las reservas de fosforo actualmente sigue siendo viable económicamente, sin embargo, tienen una vida útil limitada (200 años aproximadamente). Las aguas residuales contienen altas cantidades de N y P ocasionando eutrofización en los cuerpos de aguas receptores (Mujtaba *et al.*, 2018). El tratamiento tradicional de aguas residuales elimina de N y P mediante procesos de tipo avanzado, las que incluyen estanques, aireación, filtración, adsorción y separación por membranas (Cai, Park, and Li, 2013).

Cai, Park, and Li (2013) compararon las aguas residuales municipales con las residuales de animales, encontraron que contienen menos N y P las de tipo municipal. Sin embargo, en el efluente sin



tratar de aguas residuales municipales contienen cantidades considerables de metales pesados como zinc, plomo y cobre. Las aguas residuales producidas por las granjas a menudo son ricas en N y P. Aproximadamente la mitad del nitrógeno se encuentra en forma de amonio y la otra mitad de nitrógeno orgánico. A menudo la relación de N y P es de 2 a 8 en corrales de ganado lechero, porcinos y ganado de carne. Tradicionalmente el estiércol animal se aplica al suelo como fertilizante (Cai, Park, and Li, 2013; Wang *et al.*, 2010).

Los lixiviados se originan debido a la circulación de agua entre basura, disolviendo los elementos en residuos, resultando un líquido altamente tóxico para el ambiente principalmente por sus cargas elevadas orgánicas de demanda orgánica de oxígeno (DQO) en un rango de 10,000 a 30,000 mg/L, el cual depende del tipo de basura y de la capacidad del relleno. Estos líquidos que se encuentran confinados en el relleno sanitario migran al suelo, aguas superficiales y subterráneas, debido a las condiciones del relleno. La composición química de los lixiviados depende de la edad del relleno y del tipo de residuos depositados. La inquietud de buscar una solución a la contaminación por lixiviados surge la idea de buscar un tratamiento para los mismos y una posible aplicación (MESSA, 2006).

En México el relleno sanitario es el más utilizado como disposición final de los residuos municipales. Los altos niveles de nutrientes y otros compuestos de los lixiviados presentan un riesgo para la salud humana y el medio ambiente (Hernández-García *et al.*, 2019). Además de ocasionar eutrofización de los cuerpos de agua, debido a las cargas de aguas residuales sin algún previo tratamiento, causando floraciones de algas, agotamiento de oxígeno, pérdida de especies, aumento de la turbidez y toxicidad en el agua (Cai, Park, and Li,

2013; Gonçalves, Pires, and Simões, 2017).

Las especies del género *Chlorella* y *Scenedesmus* muestran una alta tolerancia a las condiciones de efluentes de aguas residuales (Pittman, Dean, and Osundeko, 2011). Khan and Yoshida (2008) reportan que la especie *Chlorella* es efectiva para la inmovilización y la eliminación de nutrientes. Las microalgas requieren de elementos básicos para su crecimiento, como carbono, nitrógeno y fósforo. El dióxido de carbono de la atmósfera puede fijarse en las microalgas autotróficas debido a su actividad fotosintética o por una conversión de carbonato en dióxido de carbono para el crecimiento celular. Por esta razón se busca optimizar los requerimientos de nitrógeno y fósforo (Cai, Park, and Li, 2013). Luo *et al.*, (2019) evaluaron la eliminación de nutrientes por *Desmodesmus sp.* en aguas residuales de cerdos. En las condiciones óptimas eliminaron de nitrógeno y fósforo 88.26% y 95.06%, respectivamente. Lv *et al.*, (2018) estudiaron el potencial de cinco especies de microalgas (*C. vulgaris*, *Chlorococcum sp. GD*, *Parachlorella kessleri TY*, *S. obliquus* y *S. quadricauda*) para eliminar nutrientes de aguas residuales de granja de ganado sin diluir. Concluyeron que las cinco microalgas eliminaron entre 71.19 y 81.16% de amonio y 62.37-85.29% de fósforo.

El nitrógeno inorgánico se puede encontrar en forma de nitrato (NO_3), nitrito (NO_2), ácido nítrico (HNO_3), amonio (NH_4), amoníaco (NH_3) y gas nitrógeno (N_2), a partir de estos se deriva el nitrógeno orgánico como péptidos, proteínas, enzimas, clorofilas, moléculas de transferencia de energía (ADP, ATP) y materiales genéticos (ARN, ADN). Las microalgas tienen la capacidad de transformar el nitrógeno inorgánico a orgánico, lo que se denomina asimilación. Las algas eucariotas requieren que la



fuerza de nitrógeno se encuentre solo en forma de nitrato, nitrito y amonio.

El fósforo también juega un papel importante en el metabolismo energético de las algas, este se encuentra en ácidos nucleicos, lípidos, proteínas e intermediarios de los carbohidratos. Mediante la fosforilación se incorporan los compuestos orgánicos como H_2PO_4 y HPO_4^{2-} durante el metabolismo de las algas, en donde se genera ATP a partir de difosfato de adenosina (ADP) junto con un aporte de energía (Martínez, Jiménez, and El Yousfi, 1999).

Los cultivos de microalgas se dividen en sistemas abiertos, cerrados o híbridos. El sistema abierto suele ser menos costoso, fácil de maniobrar y construir debido a que pueden ser lagos y estanques, ya sean naturales o artificiales (Cai, Park, and Li, 2013). En cuestiones económicas, la producción de microalgas abarca costos de sistemas, mantenimiento y procesos posteriores (Kim *et al.*, 2013). La cosecha, el secado y la conversión de la biomasa tienen un impacto en el costo total de la producción de microalgas.

La producción de microalgas tiene limitaciones técnicas y económicas. Se han reportado estrategias para mejorar el impacto económico de la producción de microalgas (Barros *et al.*, 2015), por ejemplo la reducción de costos al utilizar los nutrientes de las aguas residuales y reducir el costo de la cosecha que abarca hasta el 30% del costo total al utilizar métodos eficientes de recolección (Prajapati *et al.*, 2016; Wan *et al.*, 2015). Un método libre de químicos debido al uso de agente biológicos es la biofloculación (Ummalyima *et al.*, 2017). Además, aumenta la biomasa, lípidos y la biorremediación en aguas residuales (Muradov *et al.*, 2015). Asociar al cultivo es un empleo eficiente para la recolección ya sea utilizando algas-algas, algas-bacterias o algas-hongos (Alam *et al.*, 2016). Chen *et al.*, (2018) evaluaron y compararon los

métodos de cosecha asistido por pellets y esporas utilizando hongos como método de biofloculación. Encontraron que el método asistido por pellets requiere un 50% menos de glucosa y toma 2.5 h la cosecha, siendo menos tiempo, en comparación con el método asistido por esporas de 28 h.

Implementar la producción de hortalizas bajo invernadero disminuye riesgos de producción, disminuye la contaminación ambiental y los daños a la salud (Grijalva, 2003). En México a finales de los 90 comienza el desarrollo de la producción intensiva de hortalizas (Garza, 2008). El tomate ocupa el 70% del volumen producido en invernadero, el pepino 10%, el pimiento 5% y otros cultivos concentran un 15% (Destenave, 2007).

De México proceden 361.721 toneladas de pepino hacia los Estados Unidos, siendo el principal país exportador de pepino. En el 2009 en México se sembraron alrededor de 14.600 ha de pepino con rendimiento de 30 t/ha como media de producción. La producción de pepino en invernadero en el noroeste de México ha sido un éxito, al obtenerse buenos rendimientos con una sola duración del ciclo, siendo esta de 108 días en invierno, lo que da oportunidad de realizar dos siembras al año prolongando así la ventana de producción. Bajo condiciones de invernadero, la producción de pepino es de 2 a 9 veces más que en campo abierto, dependiendo del nivel tecnológico, el manejo y las condiciones climatológicas, constituyendo asimismo una alternativa a la diversificación de cultivos en invernadero.

Aplicando el concepto de economía circular se pretende utilizar los residuos líquidos de aguas residuales porcícolas y lixiviados de alimentos como fuente de nutriente para el crecimiento de las microalgas y desarrollar así un subproducto, un bioestimulante aplicado en la producción de pepino.



Las hipótesis que se planteó fue la siguiente: Los bioestimulantes aportan influencia sobre el crecimiento del cultivo de pepino y como objetivo general, evaluar la actividad bioestimulante de biomasa microbiana generada a partir de residuos líquidos para la producción de pepino.

Materiales y métodos

Cepas de microalgas

La cepa de *Chlorella vulgaris* será adquirida del Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste, S. C. y preservada a 4 °C para la experimentación. La cepa se cultivará en medio basal Bold el cual consiste en (mg/l): NaNO₃ (750), CaCl₂·2H₂O (12.5), MgSO₄·7H₂O (150), FeSO₄ (6.27), K₂HPO₄ (62.4), KH₂PO₄ (225), NaCl (0.341), H₃BO₃ (5), MnSO₄ (0.72), ZnSO₄·7H₂O (17.64), KOH (15.5), NaCl (12.5), CuSO₄·7H₂O (1.06), NaMoO₃ (0.6), CoCl₂ (0.2). Se mantendrá en cultivo líquido estéril a 26 ± 2 °C, bajo aireación continua e iluminación intermitente de 12 h luz con 1000 Klux. Alcanzando la fase estacionaria de la cepa se utilizará para la experimentación.

Fuente de nutrientes

El lixiviado de residuo alimentario será recolectado del mercado de Abastos "Estrella" (latitud 25°42'46.1"N, longitud 100°17'44.0"W) ubicado en el municipio de San Nicolás de los Garza, Nuevo León. Distintos métodos de Normas Mexicanas y extranjeras se utilizarán a lo largo del proyecto para cuantificar distintas variables en cada una de las etapas experimentales. Se evaluará el efecto de la proporción de lixiviado de residuo alimentario al 0, 3, 6, 10 y 15% sobre el rendimiento de crecimiento de biomasa de microalgas.

Las aguas residuales se recogerán de la granja de cerdos de la unidad Marín de la

Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (latitud 25°52'29.5"N, longitud 100°02'48.8"W), se evaluará el efecto de proporción al 0, 3, 6, 10 y 15% sobre el rendimiento de crecimiento de biomasa.

Para el lixiviado y el agua residual se determinará: turbidez, dureza, conductividad, alcalinidad, sólidos suspendidos totales, cloruros, nitrito, nitrato, demanda química de oxígeno y pH. Método de cosecha de microalgas asistido por pellet de hongos

Los micelios fúngicos de *Pleurotus ostreatus* se inocularán en matraces Erlenmeyer de 250 ml y luego se cultivarán a un tiempo específico (determinado por cinética preliminar) en un agitador rotatorio a 28 °C y pH neutro donde se analizarán diversas velocidades de rotación (0, 12 y 150 rpm) y concentraciones de dextrosa (10, 20 y 30 g/L). Los pellets fúngicos se filtrarán usando un tamiz de malla 200. Se añadirán diez gramos (peso húmedo) de pellets fúngicos a un cultivo *Chlorella vulgaris*, desarrollado bajo las condiciones explicadas en la sección anterior, en un matraz Erlenmeyer de 250 ml con agitación rotatoria de 150 rpm, 28 °C y mediante un diseño experimental se analizarán diversos rangos de pH (5-9), temperatura (25-40 °C) y concentración de microalga (0.3-0.6 g/L).

A las biomásas se les cuantificará la concentración de proteína (método Bradford), azúcares totales, nitritos, nitratos, amonio, lípidos, peso seco y peso fresco, así como demanda química de oxígeno, densidad óptica y sólidos suspendidos según sea el caso, después de 14 días.

Métodos analíticos

- *Clorofila*

Para analizar la concentración de clorofila, una muestra con 10 mL se centrifugará a 10000 rpm durante 10 min. Los



sedimentos se resuspenderán en una solución de 10 mL de acetona al 90% a 4 °C durante 24 h en la oscuridad y luego se centrifugarán a 4 °C, 4000 rpm durante 15 min. El sobrenadante se medirá usando el método de Lorenzen a cuatro longitudes de onda: 750 nm, 664 nm, 647 nm y 630 nm con espectrofotómetro, donde la solución de acetona al 90% se usará como blanco.

- *Azúcares totales*

El método de antrona-ácido sulfúrico se empleará para cuantificar la cantidad de azúcar total. Se mezclará un mililitro de solución de microalgas con 4 ml de solución de ácido sulfúrico concentrado de antrona al 0.2% (p/v). Las muestras se calentarán a 100 °C durante 10 min. La absorbancia se determinará bajo la longitud de onda de 620 nm.

- *Lípidos totales*

Los lípidos serán extraídos de biomasa seca después de 100 °C con una mezcla de cloroformo: metanol (2:1, v/v) y se sonificará durante 30 minutos. La suspensión se centrifugará a 4500 rpm durante 15 minutos para obtener un sobrenadante claro. La solución de disolvente se evaporará durante 24 h y el lípido extraído se determinará por gravimetría.

Análisis de nutrientes

Las muestras de biomasa se centrifugarán a 10000 rpm durante 10 min, y el sobrenadante se mantendrá a 4 °C antes del análisis. Se analizarán para detectar amonio (NH₄-N) y ortofosfato (PO₄-P) utilizando un fotómetro (Fotómetro multiparamétrico ph digital marca Hanna HI83300-01). Demanda química de oxígeno (DQO) según los métodos estándar (APHA, 1998). Oxígeno disuelto será determinado como

parámetro de calidad de agua (Medidor de oxígeno disuelto y pH Starter 300D).

Determinación de Biomasa

La concentración de biomasa se evaluará a través de la correlación entre la densidad óptica (DO) y el peso seco de sólidos suspendidos en biomasa de algas determinado gravimétricamente. La DO se medirá a 680 nm mediante un espectrofotómetro (Thermo EVOLUTION 10-Vis).

Análisis de características químicas de biomasa de microalga

El análisis proporcionará los principales elementos de la biomasa orgánica en términos de fracciones o porcentajes de peso para carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O) y nitrógeno (N). Los análisis de la base seca de microalga se determinarán usando un analizador elemental (Flash 2000, Thermo Scientific). Se utilizará un Difracción de rayos X para examinar los grupos funcionales en la superficie de las biomasa resultantes. Para observar las texturas morfológicas en la biomasa seca de microalgas se hará el uso de un microscopio electrónico de barrido de alta resolución equipado con un espectrómetro de energía dispersiva (SEM-EDS).

Las cepas son seleccionadas de ensayos preliminares en base a la alta tasa de crecimiento que presentan, el porcentaje de su composición bioquímica y la capacidad de adaptarse a diversas condiciones y medios de cultivo para posteriormente evaluar su actividad como bioestimulante en el cultivo del pepino.

Pruebas germinativas

Las semillas de pepino se lavarán y pre-tratarán con hipoclorito para reducir la proliferación de microorganismos no



deseados. En cajas Petri con papel filtro se colocarán 10 semillas por caja y se adicionarán 6 mL de solución nutritiva fortificada con los bioestimulantes de origen microbiano. Las cajas se mantendrán en incubación para mantener la temperatura y humedad constantes en la prueba de germinación de 8 días. Se utilizará 3 réplicas por tratamiento y al término de este se determinará el porcentaje de germinación, tamaño de plántula, peso seco, peso fresco y desarrollo radicular. De acuerdo con los resultados obtenidos se seleccionará el mejor bioestimulante para aplicarlo en la fase de invernadero.

Fase invernadero

En charolas de germinación con vermiculita como sustrato se sembrarán las semillas de pepino para producir plántula, la cual se utilizará para el sistema semi-hidropónico.

Cada plántula de 8 días de crecimiento se colocará en bolsas plásticas de 12 litros con vermiculita y se adicionarán distintas concentraciones del mejor bioestimulante elegido de la fase germinativa con su respectivo control. Las concentraciones de los macro y micro nutrientes, así como el pH de la solución se ajustará con solución nutritiva hidropónica. Se revisará periódicamente la humedad dentro del invernadero y se repondrá el volumen perdido de la solución con la misma concentración inicial para cada experimento, los cuales se realizarán por triplicado. Durante el experimento semihidropónico se evaluará el crecimiento vegetativo (altura y ancho de la plántula, número de hojas, flores y fruto), y se evaluará el desarrollo radicular. Al término del experimento (45 días) se cuantificará en la solución nutritiva y planta, la concentración de macro y micro nutrientes. Al fruto se le determinará color, tamaño, antioxidantes, grados brix y se

realizará un análisis sensorial. Estos últimos análisis se les realizarán para un pepino comercial adquirido en un supermercado local.

Análisis estadístico

El efecto de la adición del lixiviado y el agua residual a las semillas de pepino serán analizados por separado mediante el diseño de bloques al azar. Se realizará comparación de medias mediante análisis de varianza ANOVA con una diferencia significativa del 0.05%. Se utilizará el programa Minitab para analizar los datos. El modelo del diseño bloques al azar es:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

donde: Y_{ij} es la observación del tratamiento i en el bloque j , μ es el efecto verdadero de la media general, τ_i es el efecto del i -ésimo tratamiento, β_j el efecto del j -ésimo bloque y ε_{ij} es el error experimental de la ij -ésima observación. Mientras que el efecto del mejor bioestimulante en el crecimiento del cultivo del pepino bajo el sistema semi-hidropónico se evaluará mediante el diseño completamente al azar. Se realizará comparación de medias mediante análisis de varianza ANOVA con una diferencia significativa del 0.05%. Se utilizará el programa Minitab para analizar los datos. El modelo del diseño completamente al azar es:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

donde: Y_{ij} es la observación del tratamiento i en la repetición j , μ es el efecto verdadero de la media general, τ_i es el efecto del i -ésimo tratamiento, ε_{ij} es el error experimental de la ij -ésima observación.



Plan de trabajo y calendarización

ACTIVIDAD	2020		2021		2022	
	En/Año	Ag/DI	En/Año	Ag/DI	En/Año	Ag/DI
Redacción protocolo	X					
Caracterizar lixiviados		X				
Generar biomasa		X				
Aplicar biofloculación		X				
Caracterizar la biomasa		X				
Evaluar bioestimulante			X			
Resultados			X			
Presentación en congreso				X		
Caracterizar agua porcícola				X		
Generar biomasa				X		
Aplicar biofloculación				X		
Caracterizar la biomasa				X		
Evaluar bioestimulante					X	
Resultados					X	
Escritura de tesis					X	
Envío artículo científico						X
Presentación de grado						X

Desglose financiero

CONCEPTO	MONTO
Artículos, materiales y útiles diversos	\$39,897
Adquisición de cepas de microalgas	\$ 3,074
Semillas y sustrato	\$20,000
TOTAL	\$62,971

Agradecimientos

Se agradece sinceramente al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) del apoyo brindado en forma de beca doctoral y a la Universidad Autónoma de Nuevo León por el uso de instalaciones.

Referencias bibliográficas

Alam, Asraful et al. 2016. "Biofloculation as an Innovative Harvesting Strategy for Microalgae." *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* 15(4): 573–83.

Badii, Mohammad H. 2007. "Plaguicidas-Salud-Sustentabilidad." (19): 21–34.

Barros, Ana I., Ana L. Gonçalves, Manuel Simões, and José C.M. Pires. 2015. "Harvesting Techniques Applied to Microalgae: A Review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 41: 1489–1500.

Cai, Ting, Stephen Y. Park, and Yebo Li. 2013. "Nutrient Recovery from

Wastewater Streams by Microalgae: Status and Prospects." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 19: 360–69.

Carson, Rachel. 2014. e-conservation Journal *Silent Spring*. (May 8, 2020).

Cassen, R. H. 1987. 64 International Affairs *Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development*.

Chen, Jie et al. 2018. "A Comparative Study between Fungal Pellet- and Spore-Assisted Microalgae Harvesting Methods for Algae Biofloculation." *Bioresource Technology* 259(March): 181–90.

Finck, Arnold. 1988. "Fertilizantes y Fertilización." : 454. (February 18, 2020).

"Food Security : The Challenge Of." 2010. *science* 327(February): 812–19.

Froehlich, Peter. 2013. "A Sustainable Approach to the Supply of Nitrogen. Parker Hannifin Corporation." *Sustainable Approach to Nitrogen*.

Gonçalves, Ana L., José C.M. Pires, and Manuel Simões. 2017. "A Review on the Use of Microalgal Consortia for Wastewater Treatment." *Algal Research* 24: 403–15.

Grageda-Cabrera, Oscar Arath, Arturo Díaz-franco, Juan José, and Peñacabriales José. 2012. "Impacto de Los Biofertilizantes En La Agricultura * Impact of Biofertilizers in Agriculture Resumen." *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3: 1261–74.

Hernández-García, Andrea et al. 2019. "Wastewater-Leachate Treatment by Microalgae: Biomass, Carbohydrate and Lipid Production." *Ecotoxicology and Environmental Safety* 174(August 2018): 435–44.

Khan, Masil, and Naoto Yoshida. 2008. "Effect of L-Glutamic Acid on the Growth and Ammonium Removal from Ammonium Solution and Natural Wastewater by Chlorella Vulgaris



- NTM06." *Bioresource Technology* 99(3): 575–82.
- Kim, Jungmin et al. 2013. "Methods of Downstream Processing for the Production of Biodiesel from Microalgae." *Biotechnology Advances* 31(6): 862–76.
- Kool, A., Marinussen, M. & Blonk, H. 2012. "LCI Data for the Calculation Tool Feedprint for Greenhouse Gas Emissions of Feed Production and Utilization." *Blonk Consultants*: 26.
- Lozano, Rodrigo. 2008. "Envisioning Sustainability Three-Dimensionally." *Journal of Cleaner Production* 16(17): 1838–46.
- Luo, Long zao et al. 2019. "Nutrient Removal from Piggery Wastewater by *Desmodesmus* Sp.CHX1 and Its Cultivation Conditions Optimization." *Environmental Technology (United Kingdom)* 40(21): 2739–46.
- Lv, Junping et al. 2018. "Nutrients Removal from Undiluted Cattle Farm Wastewater by the Two-Stage Process of Microalgae-Based Wastewater Treatment." *Bioresource Technology* 264: 311–18.
- Martínez, M. E., J. M. Jiménez, and F. El Yousfi. 1999. "Influence of Phosphorus Concentration and Temperature on Growth and Phosphorus Uptake by the Microalga *Scenedesmus Obliquus*." *Bioresource Technology* 67(3): 233–40.
- Mebratu, Desta. 1998. "Sustainability and Sustainable Development: Historical and Conceptual Review." *Environmental Impact Assessment Review* 18(6): 493–520.
- MESSA, FRANCISCO JAVIER CAICEDO. 2006. 44 Global Shadows: Africa in the Neoliberal World Order "DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ARRANQUE DE UN REACTOR U.A.S.B. PILOTO PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS."
- Mujtaba, Ghulam, Muhammad Rizwan, Garam Kim, and Kisay Lee. 2018. "Removal of Nutrients and COD through Co-Culturing Activated Sludge and Immobilized *Chlorella Vulgaris*." *Chemical Engineering Journal* 343: 155–62.
- Muradov, Nazim et al. 2015. "Fungal-Assisted Algal Flocculation: Application in Wastewater Treatment and Biofuel Production." *Biotechnology for Biofuels* 8(1).
- Pittman, Jon K., Andrew P. Dean, and Olumayowa Osundeko. 2011. "The Potential of Sustainable Algal Biofuel Production Using Wastewater Resources." *Bioresource Technology* 102(1): 17–25.
- Prajapati, Sanjeev Kumar et al. 2016. "A Method for Simultaneous Bioflocculation and Pretreatment of Algal Biomass Targeting Improved Methane Production." *Green Chemistry* 18(19): 5230–38.
- Prieto Sandoval, Vanessa, Mari Jaca García, and Marta Ormazabal. 2017. "Economía Circular: Relación Con La Evolución Del Concepto de Sostenibilidad y Estrategias Para Su Implementación." *Memoria Investigaciones en Ingeniería* 15(15): 85–95.
- Santos, Francisca M., and José C.M. Pires. 2018. "Nutrient Recovery from Wastewaters by Microalgae and Its Potential Application as Bio-Char." *Bioresource Technology* 267(July): 725–31.
- Ummalyima, Sabeela Beevi et al. 2017. "Bioflocculation: An Alternative Strategy for Harvesting of Microalgae – An Overview." *Bioresource Technology* 242: 227–35.
- Wan, Chun et al. 2015. "Current Progress and Future Prospect of Microalgal Biomass Harvest Using Various Flocculation Technologies." *Bioresource Technology* 184: 251–57.
- Wang, Liang et al. 2010. "Anaerobic



Digested Dairy Manure as a Nutrient Supplement for Cultivation of Oil-Rich Green Microalgae *Chlorella* Sp.” *Bioresource Technology* 101(8): 2623–28.

Yuan, Zengwei, Weili Jiang, Beibei Liu, and Jun Bia. 2008. “Where Will China Go? A Viewpoint Based on an Analysis of the Challenges of Resource Supply and Pollution.” *Environmental Progress & Sustainable Energy* 33(3): 503–14.



Evaluación del crecimiento de plantas de *Stevia (Stevia rebaudiana)* fertilizadas con un novedoso sistema bio-electroquímico

Wilgince Apollon^{1*}; Alejandro Isabel Luna-Maldonado¹; Kamaraj Sathish-Kumar²; Juan Antonio Vidales-Contreras¹; Humberto Rodríguez-Fuentes¹; Juana Aranda-Ruíz¹; Juan Florencio Gómez Leyva³

¹Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León. Calle Francisco Villa S/N, Col. Ex Hacienda El Canadá, Gral. Escobedo, N.L. C.P. 66054. México.

²Laboratorio de Medio Ambiente Sostenible, TecNM-Instituto Tecnológico El Llano Aguascalientes (ITEL). Km.18 Carretera Aguascalientes-San Luis Potosí, El Llano Ags., C.P. 20330, México.

³Laboratorio de Biología Molecular, TecNM-Instituto Tecnológico de Tlajomulco (ITTJ). Km 10 Carretera a San Miguel Cuyutlán, Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, C.P. 45640, México.

*E-mail: wilgince.apollon@uanl.edu.mx

Resumen: La celda de combustible microbiana basada en planta (P-MFC), es un sistema bio-electroquímico mediante el cual, se convierte la energía química almacenada por la planta a electricidad. En una P-MFC las condiciones catódicas son muy importantes, ya que son propicias para el crecimiento de la planta y la generación de electricidad. Se ha demostrado que la orina es un buen inoculante microbiano para varios sistemas de MFC. Por lo anterior, se desarrollará una P-MFC empleando plantas de *Stevia rebaudiana*. El sistema tendrá las siguientes características: a) un compartimento anódico hecho con alambre de acero inoxidable flotando en la superficie del suelo y b) un electrodo catódico compuesto por fieltro de grafito colocado en el suelo aproximadamente a 15 cm. Se seleccionarán plantas establecidas previamente en macetas; y suelo utilizado en la producción agrícola. Se evaluarán cinco tratamientos; con ocho repeticiones cada uno. El trabajo se dividirá en cuatro experimentos. Se evaluarán los siguientes parámetros: electricidad, morfología de las plantas, comunidad bacteriana en el sistema y metabolitos secundarios en las plantas. El desarrollo del sistema P-MFC conduce a una nueva generación de energía sostenible y renovable.

Palabras claves: Electricidad, comunidad bacteriana, metabolitos secundarios, P-MFC, sistema bio-electroquímico.

Abstract: The plant-based microbial fuel cell (P-MFC) is a bioelectrochemical system through which the chemical energy stored by the plant is converted to electricity. In a P-MFC cathodic conditions are very important, as they are conducive to plant growth and electricity generation. Urine has been shown to be a good microbial inoculant for various MFC systems. Therefore, a P-MFC using *Stevia rebaudiana* plants will be developed. The system will have the following characteristics: a) an anode compartment made of stainless steel mesh floating on the ground surface and b) a cathodic electrode made of graphite felt placed inside of the soil at approximately 15 cm. Plants previously established in pots, will be selected; and agricultural soil. Five treatments will be evaluated: with eight repetitions. The work will be divided in four experiments. The following parameters will be evaluated: electricity, plant morphology, bacterial community in the system and secondary metabolites in plants. The development of the P-MFC system leads to a new generation of sustainable and renewable energy.

Keywords: Electricity, bacterial community, secondary metabolites P-MFC, bioelectrochemical system.



Introducción

La amenaza actual del cambio climático por la emisión de gases, el efecto invernadero, la combustión de combustibles fósiles y el agotamiento de estos mismos, ha provocado un aumento en las alternativas para la generación de energía renovable y sostenible. Esta generación de energía está relacionada con fuentes confiables como la energía solar, energía eólica y bioenergía (Wetser *et al.*, 2017); además, durante las últimas décadas se empezaron a probar diferentes sistemas bioelectroquímicos (BES, por sus siglas en inglés) capaces de transformar energía química almacenada en cualquier sustrato biodegradable a electricidad (Strik *et al.*, 2008).

Los primeros prototipos de BES desarrollados fueron las Celdas de Combustible Microbiana (MFCs, por sus siglas en inglés). En una MFC, las reacciones biológicas se utilizan para la reacción de oxidación de la biomasa, y se dividen en dos según el tipo de catalizador utilizado: 1.-enzimas y 2.-microorganismos. Cuando se usan enzimas, el mecanismo más ampliamente estudiado es el sistema de oxidación de dos electrones por glucosa oxidasa (GOx) o glucosa deshidrogenasa (GDH) (Azuma y Ojima, 2018).

El primer experimento a gran escala que se ha realizado con BES, fue la construcción de una MFC, la cual fue operada por el Centro Avanzado de Gestión del Agua de la Universidad de Queensland (Butzer *et al.*, 2007), para el tratamiento de aguas residuales. Clement *et al.* (2018) probaron la eficiencia de un sistema de celda de combustible microbiana (MFC) para el pretratamiento de orina por microorganismos presentes en el ánodo y generar energía eléctrica. Se logró densidad de potencia máxima (23

mW/m²) en un periodo de 120 días. Teóricamente es la eficiencia más conocida de los principales pasos del proceso.

Sin embargo, la utilización de MFC presenta problema en la generación continua de energía, por la proliferación de biomasa en el cátodo (Logan, 2010); también se registra una reducción de materia orgánica en el sustrato (Strik *et al.* 2008a). Se desarrollaron las celdas de combustible microbiana basada en plantas (P-MFCs, por sus siglas en inglés), generando bioenergía sin dañar a las plantas. Esta forma de producción de bioenergía ha sido desarrollada por Strik *et al.* en el año 2008b.

La implementación de la P-MFC da la posibilidad de generar electricidad mientras la planta crece simultáneamente (Helder *et al.*, 2010). La producción simultánea de electricidad y biomasa permite producir bioelectricidad que es amigable al medioambiente, también que se puede combinar con otras aplicaciones para biomasa (Strik *et al.*, 2008a).

En una P-MFC, las bacterias electroquímicamente activas catalizan la oxidación anaeróbica de los exudados liberados (rizodepósitos) por las raíces de la planta, luego genera bioenergía (Helder *et al.*, 2012). Los exudados liberados a través de las raíces son convertidos en tres elementos: electrones, protones y dióxido de carbono (CO₂) por la actividad de las bacterias electroquímicamente activas (BEAs) presentes en la rizosfera de la planta.

Desde la aplicación de la P-MFC, se han obtenido densidades de potencia promedio de 4 mW/m² y 50 mW/m² de área de siembra (Strik *et al.*, 2011), con la estimación teórica de eficiencia de 3.2 w/m² de área de siembra. Una mejor producción de bioenergía de la P-MFC depende de tres factores claves en ingeniería: tasa fotosintética, cantidad de exudados liberados por las raíces de la



planta y, por último, la recuperación de energía en la MFC. Sophia y Sreeja (2017) lograron una densidad de potencia máxima (eficiencia) de 222 mW/m² (eficiencia de conversión de 0.022 %) utilizando abono y un separador de arcilla (como membrana).

Recientemente, varios tipos de P-MFCs han sido investigados para la generación de bioelectricidad en diferentes condiciones ambientales. También se ha utilizado este sistema para evaluar el crecimiento de las plantas (Helder *et al.*, 2012). Las P-MFCs en forma tubular se han construido, usando fieltro de grafito (como ánodo y cátodo), en *Spartina anglica* (Wetser *et al.*, 2017), con fieltro de grafito como ánodo de afuera hacia adentro. Por otro lado, Sudirjo *et al.* (2019) desarrollaron una MFC de planta plana, con carbón activado como ánodo y fieltro de grafito como cátodo, para generar electricidad con *S. anglica*. También, Sophia y Sreeja (2017) desarrollaron una P-MFC cilíndrica utilizando una cámara anódica con una nueva mezcla de arcilla. Se ha reportado que el contenido de agua en el suelo es un factor crucial para la generación de bioenergía con P-MFC. Esto permite el transporte de iones desde el compartimento anódico al electrodo catódico (Chiranjeevi *et al.*, 2012). La presencia de donantes de electrones es muy importante para generar bioenergía con P-MFC. Uno de los aceptadores más utilizados como cátodo es el oxígeno (O₂) para la reacción de reducción (Hamelers *et al.*, 2010).

La orina del ganado es una fuente de fertilización sostenible y confiable en la agricultura, debido a su alto contenido de nitrógeno total (N), además de otros elementos esenciales que la planta requiere para su crecimiento. La cantidad de N devuelta en la orina del ganado es alrededor de 125-250 kg ha⁻¹ (Whitehead, 1986). La aplicación de orina del ganado

con el BES podría ser una fuente sostenible de nutriente por las plantas.

Se plantea la hipótesis de que el P-MFC tiene efecto sobre crecimiento de las plantas de *Stevia*; mediante la inoculación del sistema con orina del ganado (bovino, ovino y caprino) aumenta su rendimiento y también el potencial adecuado para generar electricidad. En este trabajo se utilizará por primera vez la MFC que será apoyada por planta de *Stevia*.

El objetivo de este trabajo es desarrollar un sistema bioelectroquímico basado en planta de *Stevia* (*Stevia*-MFC), para suplir nutrientes a las plantas, aumentando su rendimiento en cuanto a la generación de electricidad.

Materiales y Métodos

Ubicación del estudio

Este trabajo de investigación se llevará a cabo en las instalaciones de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (FAUANL), Campus de Ciencias Agropecuarias, en el Municipio de General Escobedo, N.L., con ubicación geográfica 25° 48' 28" Latitud Norte y 100° 19' 21" Longitud Oeste; Altitud de 500 msnm (metro sobre el nivel del mar); una precipitación anual de 300-600 mm; y una temperatura media anual entre 18 y 24°C (INEGI, 2017).

Material vegetal

Se seleccionarán plantas de *Stevia* de la misma edad y especie (*Stevia rebaudiana*), las cuales fueron propagas previamente bajo condiciones controladas. Posteriormente, las plantas se trasplantarán en macetas de plástico (capacidad de 20 litros) para ser evaluadas.

Selección de sustrato

Se seleccionará suelo homogéneo del campo experimental de la Unidad Académica Marín para llenar las macetas.



Este suelo se extraerá directamente del campo de producción.

Tratamientos y diseño experimental

En este estudio se evaluarán cinco tratamientos, bajo un diseño completamente al azar con 8 repeticiones; de un total de 40 unidades experimentales (UE). La unidad experimental será maceta de 20 litros. Se aplicará una dosis de 1 L de tres tipos de orina del ganado (bovino, ovino y caprino). El experimento se llevará a cabo en campo abierto y se realizará por experimento. Los tratamientos se muestran en la Figura 1.

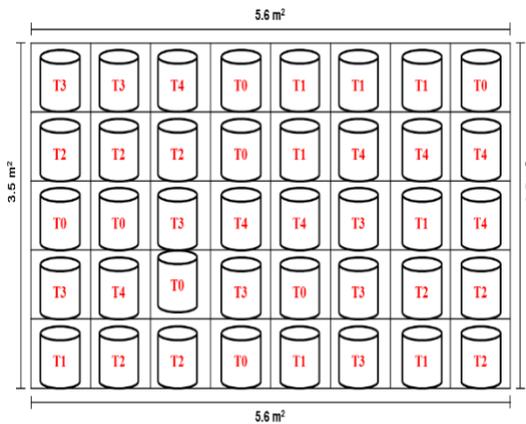


Figura 1. Croquis del experimento. Distancia entre UE: 0.70 m²; Área total: 19.6 m².

Donde:

- T₀= planta de *Stevia* sin ningún tratamiento.
- T₁= planta sin orina + P-MFC
- T₂= planta con dosis de 1 L de orina de bovino + P-MFC.
- T₃= planta con dosis de 1 L de orina de ovino + P-MFC.
- T₄= planta con dosis de 1 L de orina de caprino + P-MFC.

Experimento 1. Configuración de las P-MFC para su operación

La celda de combustible microbiana se construirá con un vaso de arcilla en forma cilíndrica (cantarito-3 mm de espesor);

altura 20 cm y diámetro 9 cm ($A = 2\pi rh + 2\pi r^2$; área=0.0693 m²). Se utilizarán el fieltro de grafito (100 mm de largo y 6 mm de espesor) como un conector de corriente catódica y malla de acero inoxidable como conector de corriente anódica. La P-MFC (electrodo catódico) se colocará cerca de las raíces de la planta a una profundidad de 15 cm para su posterior operación (Figura 2). Posteriormente, dentro del vaso se adicionará orina del ganado, que servirá como inóculo en la cámara catódica y también como regulador de crecimiento para la planta.

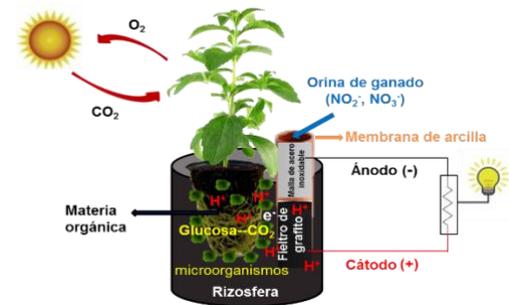


Figura 2. Esquema de una P-MFC, generando electricidad a partir de una planta de *Stevia* viva.

Modelo estadístico

$$Y_{ij} = \mu + T_i + D_j + (TD)_{ij} + E_{ij}$$

Dónde:

- Y_{ij}= variable de respuesta.
- μ= Media general.
- T_i= efecto del i-ésimo tratamiento.
- D_j= efecto del j-ésimo dosis de 1 L de orina del ganado.
- (TD)_{ij}= efecto de i-ésimo y j-ésimo interacción de tratamientos y dosis.
- E_{ij}= j-ésimo efecto aleatorio ligado a i-ésimo UE o error experimental.

Parámetros que se medirán en este experimento

Variables fisicoquímicas del suelo

-pH, humedad y temperatura: se medirá semanalmente el pH del suelo con la



ayuda de un pH-metro; los datos de humedad del suelo y de temperatura serán monitoreados con un sistema automático de adquisición de datos (Arduino, UNO), conectando un sensor de humedad a cada P-MFC.

-Estructura del suelo: se utilizará el método Olsen Modificado.

-% MO, CIC, CE, DQO, nitrato y nitrito: se determinarán estos parámetros antes y después de montar el experimento. Se tomarán muestras del suelo que se va a utilizar para proceder a estos análisis.

Variables eléctricas

Circuito abierto: los voltajes (mV) serán monitoreados desde el primer día de la puesta en marcha de las P-MFCs; los electrodos catódico y anódico serán conectados a un sistema de adquisición para monitoreo de voltaje (computadora personal durante un tiempo de 180 días. Luego, los datos serán analizados y expresados en mV.

Curva de polarización: se realizará variando resistencias como se describe en otros estudios (Logan y Regan, 2006). La resistencia se cambiará cada 5 min (dos veces) y se dejará un tiempo de equilibrio de 10 min entre cada medida. Después, mediante la Ley de Ohm se calculará la corriente en amperios (A): $I = \frac{V}{R}$.

Dónde:

I: corriente (A).

V: es el voltaje medido en voltios (V).

R: es el valor conocido de la carga (resistencia) en Ohm.

La potencia de salida y las densidades de corriente se normalizarán al área de superficie de la membrana en m² (0.0693 m²) (Timmers *et al.*, 2013), que es igual al área de crecimiento de la planta y al volumen de P-MFC (0.08101 m³). Se aplicará una curva de polarización el día 1 del experimento después de 18,000 s (5 h)

de un circuito cerrado para la determinación de la potencia de salida máxima.

La potencia en watts (W) se calculará a partir de la ecuación $W = V * A$. La generación de energía o consumo se medirá durante todo el periodo del experimento, expresada en watts-hora (Wh), y calculada utilizando la ecuación $Wh = W.h$. Luego, la producción total de electricidad se calculará utilizando la ecuación: $(J/m^2) = \Sigma P * t$; donde P = densidades de potencia promedio en W/m² durante una semana y t = una semana (604,800 s).

Circuito cerrado: se caracterizará después de la realización de la curva de polarización, seleccionando la resistencia que indicará posteriormente la máxima densidad de potencia en la P-MFC. La resistencia se quedará conectada durante 180 días de la operación del sistema. Los datos se monitorearán con un sistema de adquisición basado en un microcontrolador (Arduino, UNO) en un intervalo de tiempo de 20 min por dato. Luego, los datos se procesarán utilizando la Ley de Ohm para determinar las densidades de corriente y de potencia.

Curvas de densidades corriente y de potencia: la densidad de corriente y densidad de potencia se calcularán mediante la fórmula: $I = \frac{V}{\alpha R}$, donde α es el área del electrodo. Se expresarán en mA/m² y mW/m², respectivamente.

Experimento 2. Etapas fisiológicas de las plantas

Evaluación del crecimiento del cultivo

Con una cinta métrica, se medirá cada semana la longitud de la hoja de cada planta que tiene el sistema P-MFC puesto, luego se agregarán todas las hojas para calcular la longitud total (Helder *et al.*, 2012). Posteriormente, cada 30 días se



tomarán las medidas de altura de plantas, grosor de tallo, diámetro de hoja y número de brotes, por un periodo de seis meses.

Modelo estadístico

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + D_j + t_k + (TD)_{ij} + (Tt)_{ik} + (Dt)_{jk} + (TDt)_{ijk} + E_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = variable de respuesta
 μ = Media general
 T_i = efecto del i-ésimo tratamiento
 D_j = efecto del j-ésimo dosis.
 t_k = efecto del k-ésimo tiempo.
 $(TD)_{ij}$ = efecto de la interacción de i-ésimo tratamientos y j-ésimo dosis
 $(Tt)_{ik}$ = efecto de la interacción de i-ésimo tratamiento y k-ésimo tiempo
 $(Dt)_{jk}$ = efecto de la interacción j-ésimo dosis y k-ésimo tiempo
 $(TDt)_{ijk}$ = efecto de la interacción triple.
 E_{ijk} = Error experimental.

Variables morfológicas

Con el apoyo de un flexómetro se medirán la altura de la planta y el grosor del tallo en cm; además se contarán el número de ramas y el número de brotes de hojas. Se tomarán los datos durante un periodo de 6 meses a razón de una medición por mes

Experimento 3. Evaluación de la interacción planta-microbios a través de biología molecular

Selección de P-MFCs

Se seleccionarán las P-MFCs que presentan mayor rendimiento (Tapia *et al.*, 2017).

Se realizará la extracción de ADN (Rna 16S) según el método establecido por Suárez-González *et al.* (2014). Luego, se secuenciarán los fragmentos puros obtenidos. Las secuencias obtenidas con cada cebador serán editadas mediante el programa BioEdit 6.0.6 (Hall, 1999), construyéndose secuencias consenso y confirmándose su identidad por

comparación con las bases de datos moleculares, mediante BLASTN.

Experimento 4. Obtención de metabolitos secundarios en las plantas

En este experimento, se determinarán glicósidos de esteviol, contenido fenólico total, contenido total de flavonoides, y capacidad de antioxidante total, mediante los métodos utilizados por Saptari *et al.* (2020).

Modelo estadístico

$$Y_{ij} = \mu + T_i + t_j + E_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = variable de respuesta.
 μ = Media general.
 T_i = efecto del i-ésimo tratamiento.
 t_j = efecto del j-ésimo tiempo de muestreo.
 $(Tt)_{ij}$ = efecto de i-ésimo y j-ésimo interacción de tratamientos y tiempo.
 E_{ij} = error experimental.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos serán analizados, utilizando Microsoft Excel 2010) y MATLAB 2014b para las variables eléctricas; Minitab 19 para el análisis de varianza (ANOVA) y prueba Tukey para comparaciones de medias de las variables morfológicas y BLASTn para las secuencias (bacteria). Los valores de P (P -value) inferiores a 0.05 se considerarán significativos.

Plan de trabajo y calendarización

Las actividades que serán realizadas durante la investigación se encuentran en el Cuadro 1.

Desglose financiero

En el Cuadro 2 se encuentran los gastos que se efectuarán para llevar a cabo este trabajo de investigación.

Cuadro 1. Calendario de actividades.



LII CICLO DE SEMINARIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
Y II JORNADA DE INVESTIGACIÓN DE ESTUDIANTES DE NIVEL SUPERIOR
1, 2 y 3 Junio 2020

Actividades a realizar Bimestre	1 ^{er} Año		2 ^{do} Año		3 ^{er} Año	
	1	2	1	2	1	2
Revisión de literatura y Reporte	x	x	x	x	x	x
Experimento 1. Construcción de P-MFC		x				
Medición de parámetros de electricidad		x	x	x	x	
Análisis preliminar de los datos		x				
Experimento 2. Etapas morfológicas de las plantas			x	x		
Experimento 3. Interacción planta-microbios				x	x	
Experimento 4. Cuantificación de metabolitos secundarios en la planta					x	
Avances de investigación		x	x	x	x	
Análisis e interpretación de datos		x	x	x	x	x
Estancia de investigación (en el extranjero).				x		
Escritura de artículos científico		x	x	x	x	
Presentación a congresos nacionales e internacionales				x	x	
Reporte final						x
Presentación de tesis						x

Cuadro 2. Presupuesto del proyecto.

Material	Costo/mxn\$
Macetas/36 unidades	2,160.00
Kit del sistema MFC	17,810.00
Reactivos para determinar NO ₃ y NO ₂ :	
Solución patrón de nitrato (500 ml 1000mg/l)	12,000.00
Kits de laboratorio (Tubo Falcon, guantes, cajas Petri estéril etc.)	4,397.00
Caldo nutritivo/3 frascos	3,357.00
Agar Papa y Dextrosa/2 frascos	3,400.00
Extracto de Malta/3 frascos	5,208.00
Extracto de levadura/3 frascos	2,500.00
Agar Agar/2 frascos	3,102.00
Dextrosa/2 frascos	600.00
Zymoclean Gel DNA Recovery Kit/4 kits	6,324.00
Primer & Oligos (GeneChip™ Poly-A RNA Control Kit)/ 2	16,318.76
Transporte	5,000.00
Publicación de Artículo Científico	15,000.00
Total	65,543.00

Agradecimientos

Se agradece primero al CONACYT por el apoyo económico brindado; segundo a la Subdirección de Posgrado e Investigación de la FA-UANL; tercero al Dr. Emilio Olivares por su gran apoyo en el planteamiento del Diseño del Experimento.

Referencias Bibliográficas

Azuma, Masayuki & Ojima, Yoshihiro. (2018). Catalyst Development of Microbial Fuel Cells for Renewable-Energy Production. *10.5772/intechopen.81442*.

Butzer, S., Rabaey, K., Freguia, S., Chumpia, A. & Keller, J. (2007). Design and construction of a pilot scale microbial fuel cell running on brewery wastewater. [IWA-International Water Association](#), 106-106.

Chiranjeevi, P., Mohanakrishna, G. & Mohan, S. V. (2012). Rhizosphere mediated electrogenesis with the function of anode placement for

harnessing bioenergy through CO₂ sequestration. *Bioresour. Technol.* 124, 364-370.

Clement, A.C., Andrew, S., Ioannis, I. & Michael, R. H. (2018). Urine microbial fuel cells in a semi-controlled environment for onsite urine pre-treatment and electricity production. *Journal of Power Sources*, 400, 441-448.

Hall, T. A. (1999). "BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT". *Nucleic Acids Symposium Series*, 41, 95-98.

Hamelers, H. V. M., Ter Heijne, A., Sleutels, T. H. J. A., Jeremiasse, A. W., Strik, D. P. & Buisman, C.J.N. (2010). New applications and performance of bioelectrochemical systems. *Appl Microbiol Biotechnol.* 85, 1673-85.

Helder, M., Strik, D. P., Hamelers, H.V., Kuhn, A. J., Blok, C. & Buisman, C. J. (2010). Concurrent bio-electricity and biomass production in three Plant-Microbial Fuel Cells using *Spartina anglica*, *Arundinella anomala* and *Arundo donax*. *Bioresour. Technol.* 101, 3541-3547.

Helder, M., Strik, D. P., Hamelers, H.V.M., Kuijken, R.C.P. & Buisman, C.J.N. (2012). New plantgrowth medium for increased power output of the Plant-Microbial Fuel Cell, *Bioresource Technology*, 104, 417-423.

INEGI (2017). Anuario estadístico y geográfico de Nuevo León. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Gobierno del Estado de Nuevo León. 614 p.

Logan, B. E. & Regan, J. M. (2006). Electricity producing bacterial communities in microbial fuel cells. *Trend Microbiology*, 14, 512-518.

Logan, B. (2010). Scaling up microbial fuel cells and other bioelectrochemical



- systems. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 85, 1665-1671.
- Saptari, R. T., Esyanti, R. R. & Putranto, R. A. (2020). Growth and Steviol Glycoside Content of *Stevia rebaudiana* Bertoni in the Thin-Layer Liquid Culture Treated with Late-Stage Gibberellin Biosynthesis Inhibitors. *Sugar Technology*, 22, 179–190.
- Sophia, C. & Sreeja, S. (2017). Green energy generation from Plant Microbial Fuel Cells (PMFC) using compost and a novel clay separator. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 21, 59-66.
- Strik, D. P., Terlouw, H., Hamelers, H. V. M. & Buisman C. J. N. (2008a). Renewable sustainable biocatalyzed energy production in a photosynthetic algal microbial fuel cell (PAMFC). *Appl Microbiol Biotechnol.*, 81, 659-68.
- Strik, D. P., Hamelers, H. V. M., Jan Snel, F. H. & Buisman, C. J. N. (2008b). Green electricity production with living plants and bacteria in a fuel cell. *International Journal of Energy Resource*, 32, 870-876.
- Strik, D. P., Timmers, R. A., Helder, M., Steinbusch, K. J., Hamelers, H. V. & Buisman, C. J. (2011). Microbial solar cells: applying photosynthetic and electrochemically active organisms. *Trends Biotechnol.*, 29, 41-49.
- Suárez-González, M. E., López, G. M., Délano-Frier, J. P. & Gómez-Leyva, J. F. (2014). Expression of the 1-SST and 1-FFT genes and consequent fructan accumulation in *Agave tequilana* and *A. inaequidens* is differentially induced by diverse (a) biotic-stress related elicitors. *Journal of Plant Physiology*, 171, 359-372.
- Sudirjo, E., Buisman, C. J. & Strik, D.P. (2019). Activated Carbon Mixed with Marine Sediment is Suitable as Bioanode Material for *Spartina anglica* Sediment/Plant Microbial Fuel Cell: Plant Growth, Electricity Generation, and Spatial Microbial Community Diversity. *Water*, 11, 1810.
- Tapia, N. F., Claudia, R., Carlos, A. B. & Ignacio, T. V. (2017). Evaluation of *Sedum* as driver for plant microbial fuel cells in a semi-arid green roof ecosystem. *Ecological Engineering*, 108, 203-2010.
- Timmers, R. A., Strik, D. P. B. T. B., Hamelers, H. V. M. & Buisman, C. J. N. (2013). Electricity generation by a novel design tubular plant microbial fuel cell. *Biomass Bioenergy*, 51, 60-67.
- Wetser, K., Kim, D., Buisman, C. & Strik, D. P. (2017). Electricity from wetlands: Tubular plant microbial fuels with silicone gas-diffusion biocathodes. *Applied Energy*, 185, 642-649.
- Whitehead, D. C., Van der Meer, H.G, Ryden, J. C. & Ennik, G. C. (1986). Sources and transformations of organic nitrogen in intensively managed grassland soils. In: *Nitrogen Fluxes in Intensive Grassland Systems*, eds, Nijhoff, Dordrecht, pp 47-58.



SEMESTRE II

Descriptores morfológicos y colorimétricos para la caracterización de cladodios de *Opuntia ficus-indica* L.

Juan Arredondo-Valdez, Alejandro Isabel Luna-Maldonado, Ricardo Valdez-Cepeda, Humberto Rodríguez-Fuentes, Juan Antonio Vidales-Contreras, Juana Aranda-Ruiz

Facultad de Agronomía, UANL. Av. Francisco Villa S/N, Col. Ex Hacienda el Canadá. Email: juan.arredondovld@uanl.edu.mx

Resumen: México es el mayor productor de nopal, siendo el nopal verdura (*Opuntia ficus-indica* L) el más importante económicamente. Los descriptores morfológicos y colorimétricos se encuentran entre los rasgos agronómicos más importantes porque afectan el rendimiento. Para obtener modelos matemáticos de la penca madre, se necesita un gran número de mediciones de sus formas y color. En este estudio se encontraron relaciones entre las características morfológicas de 30 cladodios de *Opuntia*, usando el software ImageJ y se midieron sus parámetros colorimétricos en ambas caras de cada cladodio. Los datos obtenidos se ajustaron utilizando modelos determinísticos con el software CurveExpert. Los resultados indicaron que los parámetros de forma con mejores coeficientes de determinación fueron Relación de Aspecto vs. Redondez (0.99) y la Circularidad vs. el Perímetro (0.98) y ambas relaciones fueron evaluadas a un nivel de confianza del 95%.

Palabras clave: Cladodios maduros de *Opuntia*, procesamiento de imágenes, parámetros de color, modelado lineal y no lineal.

Abstract: Mexico is the largest producer of *Opuntia*, with the prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica* L) being the most important economically. Morphological and colorimetric descriptors are among the most important agronomic traits because they affect performance. To obtain mathematical models on the cladodes, many measurements of its shape and color are required. In this study, relationships were found between the morphological characteristics of 30 *Opuntia* mature pads using The ImageJ software and their colorimetric parameters were measured on both sides of each cladode. The data obtained was adjusted using deterministic models with the CurveExpert software. The results indicated that the shape parameters with the best determination coefficient were Aspect Relation vs. Roundness (0.99) and Circularity vs. Perimeter (0.98) and both relations were evaluated at confidence level of 95%.

Keywords: *Opuntia* mature pads, image analysis, color parameters, linear and no linear modeling

Introducción

La producción de nopal en México es de 853,500 toneladas por año, en 12,853.44 hectáreas cultivadas. México es líder mundial en la producción de nopal; Se exportan 34 mil toneladas de nopal al año a otros países. Nuevo León tiene un área de

4.2 ha, cuyo rendimiento es de 38 t ha⁻¹ y su producción es de 159.6 toneladas (SIAP, 2018). Sin embargo, la deficiente selección de los cladodios maduros, podrían afectar la producción de nopal fresco en México. Los descriptores morfológicos muestran las características específicas con respecto a la geometría de un rasgo particular (Wirth,



2004; Márquez-Flores, J. 2012; Bober, 2001). La forma puede no ser completamente reconstruible a partir de los descriptores, pero los descriptores para diferentes formas deben ser lo suficientemente diferentes como para que las formas puedan ser discriminadas (D'Silva and Bhuvaneswari, 2015; Žunić, J., 2010). Los descriptores morfológicos se han aplicado efectivamente a la evaluación de varias formas biológicas en animales y plantas. La cuantificación de las formas es un requisito previo para evaluar la herencia de las características morfológicas en genética cuantitativa. (Iwata *et al.* 2004).

La caracterización morfológica es necesaria porque proporciona información sobre las características y la estructura de los objetos. (Cheesa, 2010). La identificación de descriptores altamente discriminantes es importante para obtener una clasificación eficiente y reproducible de los cladodios de nopal. La importancia taxonómica potencial de la morfología de plantas y frutos ha sido reconocida por biólogos, genetistas y agricultores. (Visa *et al.*, 2014). La caracterización morfológica ha avanzado con las tecnologías modernas de adquisición, procesamiento y análisis de las imágenes de las plantas y ha adquirido mucha importancia para la selección y los estudios taxonómicos. (Brewer, 2006; Newton and Kendrick, 1990).

Por otro lado, el color es un atributo sensorial importante para proporcionar la información básica de calidad para la percepción humana, y tiene una estrecha asociación con la frescura, madurez, variedad, conveniencia y seguridad alimentaria; Por lo tanto, los descriptores colorimétricos son parámetros de clasificación importantes para la mayoría de los productos agrícolas y alimenticios. (Mc Caig, 2002). Al medir el color de los alimentos, el espacio de color $L^* a^* b^*$ es el más utilizado debido a la distribución

uniforme de colores y porque es perceptualmente uniforme (McGuire, 1992; Leon, *et al.*, 2006).

Por lo anterior, se tiene como hipótesis que mediante el uso de programas de cómputo es posible realizar estudios morfológicos y colorimétricos de *Opuntia*, de manera confiable y precisa.

El objetivo de la presente investigación fué: Investigar el potencial discriminatorio de las variables de cladodios maduros de *Opuntia ficus-indica* L., medidas con precisión utilizando el análisis de imágenes y la colorimetría.

Materiales y Métodos

Material biológico

Cladodios de nopal, de un año, de la variedad Villanueva, fueron seleccionados y recolectados visualmente por personas con experiencia en el manejo del nopal del rancho Alejandra en Zuazua, Nuevo León; geográficamente ubicado a 25 ° 52' 03" Latitud Norte y 100 ° 05' 18" Longitud Oeste, ubicado a 30 km del sitio experimental. Los cladodios se desinfectaron con una solución de 1 kg de cal más 1 kg de sulfato de cobre diluido en 98 L de agua (INIFAP, 2008).

Adquisición de imágenes y descriptores morfológicos

Se utilizaron un total de 12 descriptores morfológicos para construir el conjunto de datos junto con el análisis estadístico para caracterizar las pencas semilla de nopal y determinar el uso potencial de estos descriptores para su taxonomía. Treinta cladodios fueron fotografiados individualmente con la cámara de un teléfono inteligente iPhone. Todas las imágenes obtenidas se procesaron con la plataforma ImageJ versión 1.51j8, para estimar los descriptores de forma. Como primer paso, cada archivo de imagen con extensión jpg se abrió desde el directorio



correspondiente en una computadora personal y se transformó en una imagen de 8 bits. Después de esto, se estableció la escala de cm a píxeles, se estableció el umbral, se convirtió en una máscara y se transformó en una imagen binaria. Posteriormente, se invirtió la imagen binaria y se configuraron los descriptores morfológicos deseados, se invirtió la imagen y finalmente se analizaron los descriptores, (Figura 1 y Figura 2).

Los descriptores morfológicos de los cladodios con ImageJ fueron:

- a) Área: El área del cladodio medido como el número de píxeles en su silueta de contorno.

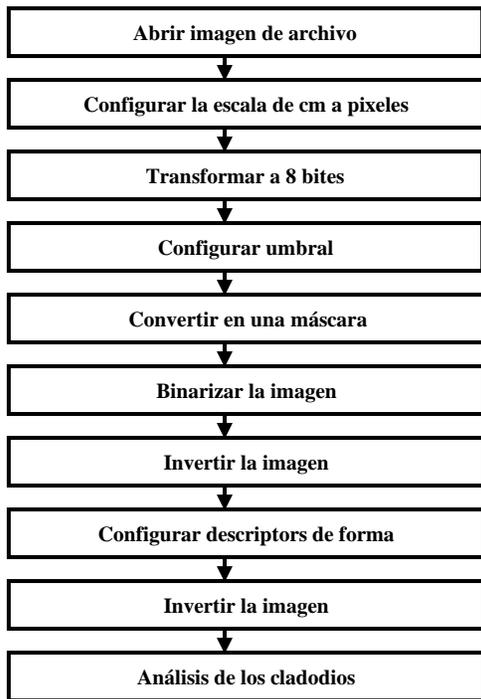


Figura 1. Diagrama de flujo del algoritmo para el procesamiento de imágenes.

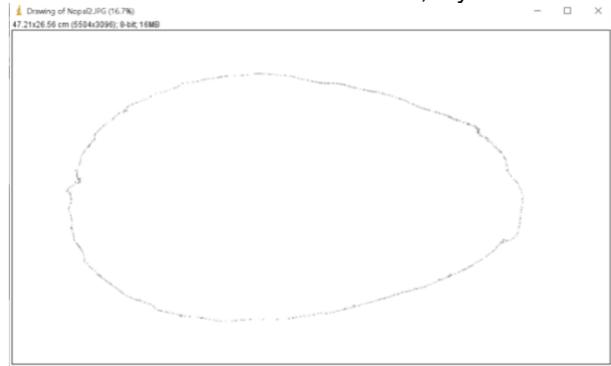


Figura 2. Imagen final obtenida del procesamiento de imágenes con ImageJ.

- b) Longitud del eje mayor: la longitud de la línea más larga que se puede dibujar a través del cladodio, medida como la distancia en píxeles entre los puntos extremos.

- c) Longitud del eje menor: la longitud de la línea más larga que se puede dibujar a través del cladodio, perpendicular al eje mayor, medida como la distancia en píxeles entre los puntos extremos.

- d) Perímetro: contorno cerrado (límite poligonalizado o vectorizado) de n vértices.

- e) Diámetro de Feret: diámetro de un círculo que tiene la misma área que el objeto,

calculado con la fórmula: $FD = \sqrt{4 \times Area / \pi}$

- f) Relación de aspecto (AR): la relación entre la longitud del cladodio y su ancho.

- g) Compactación: proporciona una medida de la redondez del cladodio: si es 1, la penca madura es aproximadamente circular, cuando disminuye en 1, el cladodio es menos circular, calculada como $C = FD / Longitud\ del\ eje\ mayor$.

- h) Redondez o circularidad: una medida de redondez o circularidad (relación área-perímetro) que excluye a los objetos del área de un círculo con el mismo perímetro convexo. Si la proporción es igual a 1, el objeto es un círculo perfecto, cuando la proporción disminuye en 1, el objeto se aleja de una forma circular, calculada como $R = [(4\pi \times \text{área}) / \text{perimeter}^2]$

- i) Resistencia: Mide la densidad de un objeto.



j) Centroide: Promedio de las coordenadas x , y de todos los píxeles en la imagen o selección.

k) Centro de masa: Promedio ponderado de brillo de las coordenadas x e y de todos los píxeles en la imagen o selección. Se usan los encabezados X_M e Y_M , ya que estas coordenadas son los momentos espaciales de primer orden.

l) Kurtosis: el tiempo de cuarto orden por encima del promedio.

Además, se midieron el grosor, el peso y la temperatura de los cladodios.

Descriptores de Color

El color del área superficial de los cladodios se evaluó utilizando un colorímetro (Minolta CR-410, Ramsey, EE. UU.), Con un iluminante estándar C, un observador estándar de 2° y un campo de visión con un diámetro de 8 mm, y una apertura de 50 mm. La Figura 3 muestra la toma de color con el equipo mencionado en el espacio de color $L^* a^* b^*$; L^* es la luminosidad; a^* es la cromaticidad del verde al rojo; y b^* es la cromaticidad de azul a amarillo. Los parámetros L^* , a^* y b^* se obtuvieron por el promedio de dos medidas realizadas en dos lados opuestos del nopal. También, se midió el tono de color ($^\circ H$).



Figura 3. Medición de los parámetros de color de los cladodios.

La relación entre los parámetros de color, a^* , b^* , C , y H , se muestra en la esfera de color (Figura 4) donde:

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \text{ y } H = \arctan(b^* / a^*).$$

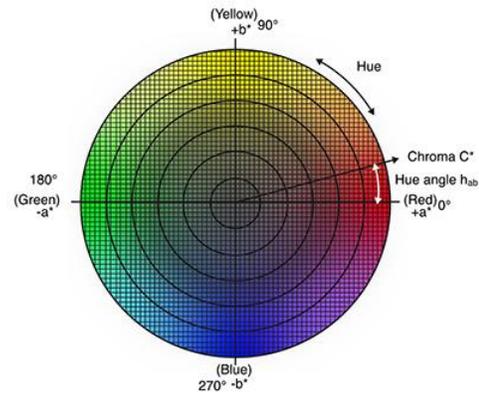


Figura 4. $L^* a^* b^*$ Parámetros del espacio de color (Grajeda-González *et al.*, 2015)

En la Figura 5, se dan las gráficas de las lecturas promedio de 30 cladodios. Hay muchos programas de computadora para convertir los valores medios de $L^* a^* b^*$ al color estándar más cercano, como se puede ver en la Figura 6, donde se

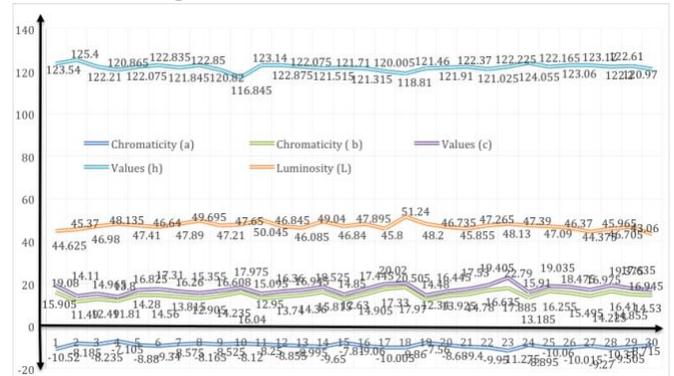


Figura 5. Valores promedio de los parámetros de color de los cladodios.

Cuadro 1. Valores promedios de los parámetros del color del cladodio.

	Crom a a^*	Croma b^*	Valor C 4	Valor H 121.93	Luminosi- dad L^* 47.0845
Media	- 9.059	14.59167	17.234 4	121.93	47.0845

muestran los parámetros de color promedio L^* , c y h y el cuadro de color de los cladodios maduros estimados, usando un



programa de computadora (Johnston, 2019).

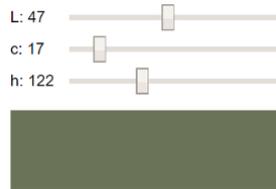


Figura 6. Parámetros promedios de color L *, C y H de cladodios.

Análisis Estadístico

Se analizaron un total de 12 variables cuantitativas. Los valores medios de los parámetros de color de todos los cladodios se dan en la Cuadro 1, donde el valor H es de 121.93, C es de 17.23 y L es de 47.08. Se realizaron estadísticas descriptivas para las variables, y se obtuvieron los siguientes parámetros: media, mínimo, máximo y desviación estándar, como vemos en el Cuadro 2 donde se dan dichos parámetros para los 12 parámetros estudiados. El análisis de varianza (ANOVA) se aplicó para detectar variables discriminantes entre pares de variables; sin embargo, no hubo resultados relevantes. Además, se realizó un análisis de regresión no lineal para variables morfológicas para identificar la relación entre cada par de ellas, usando un coeficiente de confianza del 95%, buscando el modelo que mejor se ajustara a los datos, y con el mayor valor del coeficiente de determinación.

Cuadro 2. Valores medios, mínimos, máximos y desviación estándar de todos los parámetros de cladodios maduros

	Área	Xm	Ym	Perímetro	Ancho	Alto
Media	451.891267	17.638533	14.7064	87.807433	33.400967	18.720767
Min. Valor	337.941	15.012	11.747	73.048	28.086	15.848
Máx. Valor	634.531	21.91	18.611	144.918	38.511	22.797
Desv. Std.	71.916311	1.668031	1.723239	18.349222	3.049603	1.778912
			72			
Coficiente de Variación	0.1591452	0.094567	0.117176	0.208971	0.091303	0.095023
	Circularidad	Diámetro	Kurtosis	Relación	Redondez	Solidez
	Fere	Aspecto				
Media	0.768533	33.4941	1.9771	1.807267	0.557133	0.985933
Min. Valor	0.329	28.372	-0.021	1.51	0.488	0.956
Máx. Valor	0.87	38.653	5.624	2.05	0.662	0.993
Desv. Std.	0.131741	3.027864	1.395378	0.149525	0.047111	0.007409
Coficiente de Variación	0.171418	0.090400	0.705770	0.082736	0.084559	0.007515

Por otro lado, se realizó un análisis de correlación entre los parámetros morfológicos para buscar una relación entre ellos, encontrando valores del coeficiente de determinación desde 0.99 entre la redondez y la Relación de Aspecto, hasta 0.01 entre la redondez y la circularidad variando en este intervalo, los valores para los parámetros analizados. Los resultados se dan en el Cuadro 4. Debido a la distribución de datos, el análisis de regresión no lineal se llevó a cabo utilizando el software CurveExpert Pro: 2.6.5. Con dicho análisis, obtuvimos los modelos matemáticos para las combinaciones de pares de los siete parámetros morfológicos más importantes, con su correspondiente coeficiente de determinación, y utilizando un nivel de confianza del 95% se dan en el Cuadro 5

Cuadro 4. Análisis de correlación y coeficientes de determinación entre los siete parámetros morfológicos mas importantes.

	Área	Perímetro	Circularidad	Diámetro	Relación	Redondez	Solidez
			Fere	Aspecto			
Área	1						
Perímetro	0.844258	1					
Circularidad	-0.688268	-0.963475	1				
Diam. Fere	0.862075	0.678601	-0.570334	1			
Rel. Aspecto	-0.033067	-0.101522	0.030721	0.452616	1		
Redondez	0.027867	0.086724	-0.011413	-0.453624	-0.996477	1	
Solidez	-0.405357	-0.378089	0.343927	-0.475687	-0.171554	0.159874	1

Cuadro 5. Ecuaciones y Modelos de regresión no lineal y coeficiente de determinación r^2 , con 95% de confianza de los parámetros



**LII CICLO DE SEMINARIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
Y II JORNADA DE INVESTIGACIÓN DE ESTUDIANTES DE NIVEL SUPERIOR
1, 2 y 3 Junio 2020**

variables Relacionadas	Ecuación y modelo	r
Perímetro vs Área	$Perímetro = 119,5606 + 43,4425 \cos(0,008214 \text{Área} - 0,01434)$	0.8055
Circularidad vs Área	$Circularidad = 0,3824 + \frac{0,4292 \text{Área}^{-1,15292}}{542,744 - 1,15292 + \text{Área}^{-1,15292}}$	0.8814
Diámetro Feret vs Área	$Diámetro Feret = \frac{38,1158}{(1 + e^{(15,8949 - 0,0373 \text{Área})})^{0,252921}}$	0.8825
Relación Aspecto vs Área	$Relación Aspecto = 1,7963 + 0,099 \cos(0,984 \text{Área} - 6,8176)$	0.1688
Redondez vs Área	$Redondez = 0,5559 + 0,03 \cos(0,03875 \text{Área} + 2,7462)$	0.1766
Solidez vs Área	$Solidez = 0,983 + 0,00836 \cos(0,0235 \text{Área} + 8,9817)$	0.4617
Circularidad vs Perímetro	$Circularidad = 2,152 - 0,01166 \frac{Perímetro + 2558}{Perímetro^2}$	0.9633
Redondez vs Perímetro	$Redondez = 0,547 + 0,04 \cos(0,0071 \text{Perímetro} + 0,4945)$	0.1579
Relación Aspecto vs Perímetro	$Relación Aspecto = e^{11,4226 - \frac{195,75}{Perímetro}} - 1,96 \ln(Perímetro)$	0.1466
Solidez vs Perímetro	$Solidez = 0,977 + \frac{0,0123 \text{Perímetro}^{-0,551}}{88,6^{-0,551} + \text{Perímetro}^{-0,551}}$	0.4105
Diámetro Feret vs Perímetro	$Diámetro Feret = \frac{37,83}{(1 + e^{(17,43 - 1,04 \text{Perímetro})})^{1,134}}$	0.9012
Redondez vs Circularidad (Circ)	$Redondez = 0,949 + (1 - 0,949) [1 - e^{1,82 \text{Circ} - 92,2 \text{Circ}^2 + 92,2 \text{Circ}^3 - 41,28 \text{Circ}^4}]$	0.7631
Relación Aspecto vs Circularidad	$Relación Aspecto = 1,04 + (1 - 1,04) [1 - e^{26,2 \text{Circ} - 97,2 \text{Circ}^2 + 128,2 \text{Circ}^3 - 66,4 \text{Circ}^4}]$	0.7460
Solidez vs Circularidad	$Solidez = 0,987 + 0,049 \cos(189 \text{Circ} - 2,629)$	0.2445
Diámetro Feret vs Circularidad	$Diámetro Feret = 37,885 - 7,374e^{-0,0005 \text{Circ} - 0,0007 \text{Circ}^2}$	0.5841
Relación Aspecto vs Redondez	$Redondez = \frac{151,293}{(1 + \frac{Relación Aspecto}{0,0066})}$	0.9999
Solidez vs Redondez	$Solidez = 0,987e^{-0,0212(1 - 0,0304 \text{Redondez})}$	0.5823
Diámetro Feret vs Redondez	$Redondez = 0,538 + \frac{1 - 0,538}{1 + e^{-0,5391 + 20,288 \ln(Diámetro Feret)}}$	0.3152
Solidez vs Relación Aspecto (RA)	$Solidez = \frac{0,969 - 0,473 \text{RA}}{1 - 0,497 \text{RA} + 0,0046 \text{RA}^2}$	0.5677
Diámetro Feret vs Relación Aspecto (RA)	$Diámetro Feret = 278,281 \cos(\text{RA} + 40,579) + 81,885 \cos(2 \text{RA} + 40,579) + 92,281 \cos(3 \text{RA} + 40,579)$	0.3466
Diámetro Feret vs Solidez	$Diámetro Feret = \frac{(32,599)(5541785617429,7) + 37,4745 \text{Solidez}^{-1893,285}}{5541785617429,7 + \text{Solidez}^{-1893,285}}$	0.3145

En el Cuadro 6, se muestran los parámetros con el coeficiente de correlación más alto, así como el modelo propuesto, para cada pareja de parámetros.

Resultados y Discusión

Nuestro objetivo principal en este estudio fué reducir el tiempo y el trabajo involucrados en la captura y análisis de imágenes de cladodios maduros de Opuntia para obtener variables cuantitativas relacionadas con la morfología externa de ellas.

Cuadro 6. Pares de parámetros y el modelo con el coeficiente de correlación más alto.

Variables relacionadas	Modelo Propuesto	valor r
Perímetro vs Área	Sinusoidal regression	0.8975
Circularidad vs Área	DR Hill regression	0.9388
Diámetro Feret vs Área	Richards regression	0.9394
Circularidad vs Perímetro	Heat capacity regression	0.9815
Diámetro Feret vs Perímetro	Richards regression	0.9493
Redondez vs Circularidad	DR multistage-4-regression	0.8735
Relación Aspecto vs Circularidad	DR multistage-4-regression	0.8637
Relación Aspecto vs Redondez	Weibul Model regression	0.9999

Los valores de las variables se obtuvieron mediante el procesamiento de imágenes con el software ImageJ y los instrumentos de color, luego se ajustaron con modelos lineales y no lineales con el software CurveExpert.

Los resultados obtenidos del análisis de varianza mostraron valores no significativos entre los cladodios maduros de nopal para todos los tratamientos; el peso de los cladodios maduras osciló entre 682.95 g y 1299.4 g, la superficie de los cladodios, oscilaba entre 337.941 y 618.512 cm², y la longitud del eje mayor oscilaba entre 28.086 cm y 38.511 cm. Los valores medios, la desviación estándar y la amplitud de las otras variables se muestran en el Cuadro 1. El coeficiente de variación osciló de 0.75% a 20.89%. Sin embargo, la mayoría de las variables mostraron un coeficiente de variación de menos del 10% (Cuadro 1).

Además, se obtuvieron los valores medios de los parámetros de color de los 30 cladodios (Figura 1) y utilizando el selector de color y gradiente *Lch* y *Lab* de David Johnston, se observó (Figura 6), la semejanza al color a la vista de los cladodios.

Los resultados obtenidos para los parámetros de forma del análisis de correlación mostraron buenas relaciones,



desde 0.99 hasta 0.01 entre parámetros positivos y negativos oscilando el resto, entre dichos valores. Los resultados del análisis de regresión no lineal, (Cuadro 6), indicaron fuertes relaciones entre los siguientes parámetros: perímetro vs. área ($r = 0.8975$), circularidad vs. área ($r = 0.9388$), diámetro de Feret vs. área ($r = 0.9394$), circularidad vs. perímetro ($r = 0.9815$), diámetro de Feret vs. perímetro ($r = 0.9493$), redondez vs. circularidad ($r = 0.8735$), relación de aspecto vs circularidad (0.8637), relación de aspecto vs. redondez ($r = 0.9999$). Hubo otros parámetros con una relación menos fuerte como solidez vs. área ($r = 0.679$), solidez vs perímetro ($r = 0.640$), diámetro de Feret vs. circularidad ($r = 0.764$), solidez vs redondez ($r = 0.763$), solidez vs. área ($r = 0.753$) y el resto expusieron un coeficiente de correlación más bajo.

Conclusiones

Los resultados obtenidos de la investigación muestran que el procesamiento de imágenes y el modelado lineal y no lineal permitieron caracterizar la morfología y el color de los cladodios maduras *Opuntia ficus-indica* L. (Variedad Villanueva) de un año de edad utilizando los softwares ImageJ y CurveExpert.

Se obtuvieron valores de coeficiente de correlación muy buenos de los modelos de regresión no lineal entre 8 pares de parámetros, 5 más con un valor medio y el resto con un bajo valor del coeficiente de correlación, de los 21 pares de parámetros, con un nivel de confianza del 95%.

Se espera que esta investigación sea un protocolo útil para aquellos que desean realizar trabajos similares de caracterización de morfología y color con cladodios de diferentes variedades u otras semillas o productos.

Agradecimientos

Se agradece a la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León y a PAICYT UANL 2019 (CT696-19) por el financiamiento otorgado para el desarrollo de este proyecto, así como al Instituto Tecnológico de Saltillo por su apoyo.

Referencias Bibliográficas.

- Bober, M. (2001). MPEG-7 visual shape descriptors. *IEEE Transactions and systems for video technology*, 11(6), 716-719.
- Brewer, M. T., Lang, L., Fujimura, K., Dujmovic, N., Gray, S., & van der Knaap, E. (2006). Development of a controlled vocabulary and software application to analyze fruit shape variation in tomato and other plant species. *Plant physiology*, 141(1), 15-25.
- Chessa I. (2010). Cactus pear genetic resources conservation, evaluation and uses. *Cactusnet Newsletter, Special Issue*. 2010; 2:43-53.
- D'Silva, P., and Bhuvaneshwari, P. (2015). Various Shape Descriptors in Image Processing—A Review. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 4(3), 2338-2342.
- Grajeda-González, F., Contreras-Salazar, E. A., & Luna-Maldonado, A. I. (2015) Sistema de Procesamiento de Imágenes para Obtener los Parámetros del Color en Frutos de dos Variedades de Tomate. *Congreso Internacional de Investigación Tuxpan, Veracruz, México en Ciencias y Sustentabilidad CICS. Academia Journals* 2015:1156:1161.
- INEGI (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos*, General Escobedo, Nuevo León.
- INIFAP (2008) *Guía para cultivar el nopal tunero en el estado de Hidalgo*; ISBN:



- 978-607-425-095-4; Folleto para productores No 15, Diciembre de 2008. Instituto Nacional de Investigación Agrícolas y Forestales.
- Iwata, H.; S. Niikura; S. Matsuura; Y. Takano; and Y. Ukai. (2004). Interaction between genetic effects and soil type in diallel analysis of root shape and size of Japanese radish (*Raphanus sativus* L.). *Breeding Science* 54: 313-318.
- Leon, K., Mery, D., Pedreschi, F., and Leon, J. (2006) Color measurement in L*a*b* units from RGB digital images. *Food Research International*, 39, 1084-1091.
- Márquez-Flores, J. (2012) Simple 2D and 3D Shape Descriptors. CCADET-UNAM.
- McCaig, T. N. (2002) Extending the use of visible/near-infrared reflectance spectrophotometers to measure colour of food and agricultural products. *Food Research International*, 35(8), 731-736.
- McGuire, R.G. (1992) Reporting of objective color measurements. *Hort Science* 27 (12), 1254–1255.
- Newton, G., and Kendrick, B. (1990) Image processing in taxonomy. *Sydowia*, 42, 246-272.
- Johnstone, J. (2020). LCH and Lab colour and gradient picker (<http://davidjohnstone.net/pages/lch-lab-colour-gradient-picker>).
- SIAP (2018) Producción Agrícola 2018, Ciclo: Ciclicos – Perennes, Modalidad: Riego + Temporal, Cultivo: Nopalitos. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (<https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>).
- Visa, S., Cao, C., Gardener, B. M., & van der Knaap, E. (2014). Modeling of tomato fruits into nine shape categories using elliptic fourier shape modeling and Bayesian classification of contour morphometric data. *Euphytica*, 200(3), 429-439.
- Wirth, M. A. (2004). Shape analysis and measurement. University of Guelph. CIS, 6320.
- Žunić, J. (2010) Shape descriptors. University of Exeter, College of Engineering, Mathematics and Physical Sciences, Exeter EX4 4QF, U.K. and Mathematical Institute SANU, Kneza Mihaila 36, Belgrade, Serbia, 2010.



SEMESTRE III

Evaluación de elicitors sobre metabolitos de resistencia en dos variedades de tomate (*Solanum lycopersicum*) en condiciones de invernadero.

Alhagie K. Cham¹, Ma. del Carmen Ojeda Zacarías¹, Héctor Lozoya Saldaña², Emilio Olivares Sáenz¹, Omar Guadalupe Alvarado Gómez¹, Rigoberto E. Vázquez Alvarado¹.

¹Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León. Calle Francisco Villa S/N, Col. Ex Hacienda El Canadá, Gral. Escobedo, N.L. C.P. 66054. Méx. Tel. (81) 1340 4399.

²Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma de Chapingo, Carretera Mexico- Texcoco Km 38.5, 56230 Chapingo, CP 56230. Mexico. Tel. (595) 9521500.

Email: alhagie.cham-3@uanl.edu.mx

Resumen. El uso de los elicitors ha crecido por los beneficios que se desencadenan al utilizarlos en los cultivos, pues actúan generalmente en forma de precursores de metabolitos secundarios para impedir o retardar la entrada de patógenos y limitan su actividad en el tejido que ha sido infectado. El objetivo de esta investigación es conocer el efecto de tres elicitors de origen mineral (Activane®, Micobiol® y Stemicol®) sobre la incidencia de enfermedades, vigorización, rendimiento y calidad de fruto de tomate en invernadero. Los elicitors disminuyeron la incidencia de enfermedades presentadas y mostraron diferencia significativa para algunas variables, siendo los tratamientos de Micobiol® el que más influyó en cuanto al peso y diámetro de fruto, Mientras que Stemicol® en color de fruto, grados Brix y pH, por su parte Activane® fue únicamente sobre el porcentaje de ácido cítrico.

Palabras clave: calidad, enfermedades, fitohormonas, incidencia, vigorización

Abstract. The use of elicitors has grown due to the benefits that are elicited when using them in crops, since they generally act as precursors of secondary metabolites to prevent or delay the entry of pathogens and limit its activity in the tissue that has been infected. Therefore, the objective of this research is to know the effect of three elicitors of mineral origin (Activane®, Micobiol® and Stemicol®) on the incidence of diseases, invigoration, yield and fruit quality, in the greenhouse. Elicitors decreased the incidence of diseases presented and showed a significant difference for some variables, with Micobiol® treatments being the most influential in terms of fruit weight and diameter, while Stemicol® in fruit colour, Brix degrees and pH, on the other hand Activane® only got influence on citric acid percentage.

Keywords: diseases, incidence, invigoration, phytohormones, quality

Introducción

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) también conocido como jitomate, pertenece a la familia Solanaceae. Es una hortaliza herbácea anual, bianual, de origen centro y sudamericano. Actualmente se conoce en todo el mundo, y se cultiva para consumo fresco e industrializado de mayor valor

económico (Allende *et al.*, 2017). Este cultivo es de mayor importancia a nivel nacional e internacional, debido a su amplio consumo, área cosechada y al valor económico de la producción. Además de la importancia económica y social en los sistemas de producción del mundo, tiene cada vez mayor relevancia nutricional en los tiempos modernos porque es una fuente extraordinaria de



sustancias antioxidantes (licopeno, betacaroteno) y vitaminas (Marín 2017). Los principales países productores de tomate en el mundo son China, Estados Unidos, India, Turquía, Egipto, Italia, Irán, España, Brasil, México, Uzbekistán, Rusia, entre otros (FAOSTAT, 2018). En México existen 43,903 ha sembrado con rendimiento de 63.116 ton/ha de las cuales se encuentran distribuidas en todo el país, existen grandes regiones productoras de hortalizas a cielo abierto, tal es el caso del Noroeste (Sinaloa, Sonora y Baja California), la costa del Pacífico (Nayarit, Jalisco, Michoacán, Guerrero y Oaxaca), la Zona Centro Norte (San Luis Potosí y Coahuila), Las Huastecas (Tamaulipas, Veracruz, San Luis Potosí e Hidalgo), etc. Que en conjunto permiten el abasto del mercado interno durante la mayor parte del año (SIAP, 2019).

El tomate es muy propenso a varias enfermedades, por lo cual se realizan muchas aplicaciones de pesticidas químicos sintéticos. Sin embargo, la mayoría de los pesticidas son costosos y dañinos para los humanos y el ambiente, por lo que su uso debe limitarse a casos de emergencia. Sin embargo, se recomiendan usar estrategias combinadas de pesticidas (con énfasis en control biológico) y fertilizantes orgánicos. En estas circunstancias se incrementa la demanda de productos alternativos como productos orgánicos para control de enfermedades y plagas y el uso de moléculas inductoras también llamadas elicitors (Simmons, 2018; García *et al.*, 2018). Los elicitors son sustancias naturales o minerales que al ser aplicadas en las plantas de forma preventiva ayudan a reducir o evitar daños producidos por enfermedades, plagas o factores abióticos adversos (INTAGRI, 2019). Se presentan como el método más prometedor de entre las alternativas de control de patógenos, mejor vigor de los tejidos, mejor calidad en post-cosecha, rentabilidad de la producción y reducción costos ya que no

supone ningún tipo de riesgo para el cultivo, con ellas podremos reducir el uso de pesticidas (Mota, 2019).

Por esta razón, se propuso estudiar el efecto de tres elicitors sobre la incidencia de enfermedades, vigor, calidad y rendimiento en invernadero. Por los antecedentes antes mencionados se formulan la siguiente Hipótesis. Los elicitors disminuyen la incidencia de enfermedades y mejoran el vigor, calidad y rendimiento de tomate y el Objetivo general fue Evaluar los efectos de tres elicitors en la protección contra enfermedades, vigorización de tejidos, rendimiento y calidad de frutos de dos variedades de tomate. Objetivos específicos fueron los siguientes. 1. Evaluar el rendimiento y calidad de las plantas de tomate bola y saladette en condiciones de invernadero. 2. Evaluar la incidencia y severidad de enfermedades en tomates bola y saladette. 3. Identificar morfológica y molecularmente las enfermedades presentadas en tomates bola y saladette.

Materiales y Métodos

Se realizaron dos experimentos con variedades de tomate saladette y bola, las cuales fueron sembrados en ambiente protegido del invernadero Israelita, en el Centro de Agricultura Protegida (CAP) de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), durante los ciclos verano 2019 a primavera 2020, con una temperatura media anual de 23 °C y humedad relativa de 60 – 80%. Los frutos fueron cosechados periódicamente considerando como indicadores de madurez el llenado del cáliz y el tiempo transcurrido desde el amarre del mismo. Estos fueron llevados al laboratorio, donde se les eliminó el cáliz, se lavaron con agua y desinfectaron con una solución de cloro de 5%; posteriormente, se dejaron secar a temperatura ambiente. Luego se tomaron los datos de cosecha de cada



variedad para el análisis de las variables del peso de fruto, diámetro polar y ecuatorial del fruto, sólidos solubles, color y pH. Así como incidencia y severidad de enfermedades, se realizaron identificaciones sintomáticas y molecular de las enfermedades observadas durante el ciclo del cultivo (SMN, 2020).

Diseño experimental

En este estudio se utilizó un diseño completamente al azar de 4 tratamientos con 4 repeticiones, 8 plantas por unidad experimental, de las dos camas para evaluar la aplicación y efecto de los tres elicitores durante el desarrollo de la planta, se evaluó la productividad, incidencia de enfermedades, efecto del producto en tres diferentes etapas de ciclo del cultivo y su resultado con los tratamientos, T1, T2, T3 y T4. El tratamiento T1 utilizado como control, T2 Activane, T3 Micobiol y T4 Stemicol (LIDA®). Los datos se tomaron periódicamente, se realizaron las lecturas a la misma hora para una mayor precisión. Fueron evaluadas las siguientes variables del rendimiento según metodología de Urrieta-Velázquez *et al.* (2012).

- Peso fresco del fruto.
- Diámetro polar y ecuatorial de fruto.
- Rendimiento.

Determinación del color del fruto

El color del fruto maduro debe ser rojo intenso y uniforme. Además, el carácter varietal, está influenciado por el estado de maduración del fruto en el momento de la recolección. Este parámetro se evaluó de modo objetivo mediante el colorímetro modelo Chin SPEC, previamente calibrado que sitúa el color en el espacio mediante la definición tres coordenadas: *L* luminosidad; *a*, contribución del rojo y *b*, contribución al amarillo. Los resultados se transformaron a valores de matiz (h^*) mediante el cálculo del arco tangente de

(b^*/a^*) ; croma (C) utilizando el cálculo de $[(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}]$, y el índice de color (IC): $[(a^* \times 1000) / (L \times b^*)]$, de acuerdo con Benito-Bautista *et al.* (2016).

Determinación del contenido de sólidos solubles (Grados Brix)

El contenido en sólidos solubles totales del tomate, se expresó en °Brix. El refractómetro digital modelo "Atago" fue usado para la determinación de contenido en sólidos solubles totales. Se limpió con un papel, se añadió unas gotas del jugo de tomate para determinar los °Brix correspondiente a cada muestra (Ruiz y Rodríguez, 2014).

Determinación de pH y acidez titulable

Para determinar la variable del pH se utilizó un potenciómetro, mientras que para la acidez se obtuvo extrayendo 1.0 g de muestra homogénea de tejido, con 9 ml de agua destilada. El conjunto se valoró con hidróxido de sodio (NaOH) 0.1N, utilizando fenolftaleína al 0.1% como indicador. Los resultados se expresaron como porcentaje de ácido cítrico presente (Benito-Bautista *et al.*, 2016).

Incidencia y severidad de enfermedades

Se utilizó una escala de 0 a 5, grado por planta enferma. En cada unidad experimental se contaron las plantas totales y las plantas que manifestaban síntomas de enfermedades para las incidencias se determinó el porcentaje o número de plantas enfermas. Por otra parte, la severidad se determinó por el porcentaje de área de tejidos cubierto con síntomas, siempre que se establece la fase de desarrollo del cultivo y órgano de la planta en la muestra (García *et al.*, 2018). Y posteriormente la identificación molecular (White *et al.*, 1990).

Identificación molecular de las enfermedades



Se recolectaron muestras de plantas, hoja y fruto de las dos variedades procedentes del invernadero. Para hongos y bacterias las muestras consistieron en plantas, hojas y frutos con sintomatología de ataque de patógeno. Mientras que para los virus cada muestra consistió en 2 g aprox. de la hoja más nueva localizada en el ápice aéreo, con síntomas indicadores del virus como clorosis intervenal, moteada y deformación en hojas. Las muestras fueron trasladadas al laboratorio de fitopatología, donde posteriormente se le realizaron los análisis correspondientes a cada uno.

Aislamiento de hongos y bacterias fitopatógenas

Se utilizaron algunas muestras vegetativas sintomáticas, estas se sumergieron durante 2 minutos en una solución de cloralex al 10%, pedazos de tallo, hojas o fruto sintomáticos de 1 cm de largo de las especies vegetales. Se transfirieron los trozos a las cajas petri con medio PDA colocando de 3 o 4 pedazos en cada caja. Se dejaron en incubación durante 24-48 horas o hasta que aparezcan colonias, y posteriormente se observó directamente al estereoscopio y se realizó una preparación en portaobjetos para su observación al microscopio óptico a nivel morfológica.

Identificación de bacterias por PCR y secuenciación de ADN

Se utilizaron primers que tienen como blanco el gen ribosomal 16S de procarionte 8F/1492R cuya secuencia es la siguiente: 8F 5'-aga gtt tga tcc tgg ctc ag-3' 1492R 5'-ggt tac ctt gtt acg act t-3' Se llevaron las muestras al termociclador con el programa térmico que consiste en lo siguiente: 94°C 1 minuto, 94-48-72 durante 30"-50"-80" 35 ciclos y 74°C 4 minutos. Al término de la reacción, se carga un gel de agarosa al

1% previamente teñido con 0.5 µg µl⁻¹ de bromuro de etilio, con 10µl del producto amplificado (incluyendo el testigo negativo) y un marcador de peso molecular (ladder-100). El fragmento esperado será de 1484 pb. Aproximadamente. Se observa el resultado en un transiluminador de luz UV y se toma una fotografía.

Extracción de ADN y detección de virus por PCR genérico Begomovirus

Para la extracción de ADN se utilizó el método de DNAzol y para las reacciones de PCR, los primers de Wyatt y Brown (1996): cuyas secuencias son las siguientes: prC-889 5'-ggr ttd gar gca tgh gta cat g-3' y 5'-gg(ag) tt(agt) ga(ag) gca tg(act) gta cat g-3' y prV-324 5'-gcc yat rta yag raa gcc mag-3' 5'-gcc (ct)at (ag)ta (ct)ag (ag)aa gcc (ac)ag. Las muestras colocadas en el termociclador con un programa que consiste en dar un ciclo con temperatura de desnaturalización de 92°C, 1 min; 35 ciclos de temperatura de desnaturalización de 92°C por 60 seg; temperatura de apareamiento de 60°C por 20 seg; temperatura de polimerización de 74°C por 30 seg y una extensión final de 74°C por 4 minutos. Posteriormente la visualización de los productos amplificados se efectuó mediante electroforesis en geles de agarosa al 1% a 60 volts por 5 minutos seguido de 100 volts por 40 minutos, y fue observado en un transiluminador de luz UV (UVPMP). Se toma una fotografía.

Secuenciación y análisis de datos

Se revisaron el procedimiento para la corroboración de la identidad de las bacterias, hongos y virus mediante la comparación de secuencias 16S para bacterias y 18S/5.8S/28S para hongos. Los productos amplificados fueron secuenciados y sus secuencias fueron comparadas con secuencias del



GenBank (www.ncbi.nlm.nih.gov) para corroborar su identidad.

T3 (Micobiol)	183.45a	54.62	74.38a
T4 (Stemicol)	161.76b	51.59	71.22b

Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa ($P < 0.05$)

PF: Peso de fruto, **DPF:** Diámetro polar de fruto, **DEF:** Diámetro ecuatorial de fruto

Análisis estadísticos

Los resultados obtenidos para cada variable se les realizó un análisis de varianza y la comparación de medias con la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) usando el programa IBM SPSS VERSION 21 (IBM, 2015).

Resultados y Discusión

Los resultados obtenidos con respecto a la cosecha de invierno-primavera 2020, se describen a continuación. El análisis estadístico para los parámetros en estudio, bajo las mismas condiciones mostró diferencia significativa ($p \leq 0,05$) para las variables peso y diámetro polar del fruto en la variedad saladette. Mientras que se registró diferencia significativa para las variables peso y diámetro ecuatorial del fruto en la variedad bola. Para ambas variedades, el valor más alto de peso de fruto y diámetro ecuatorial se encontraron en el tratamiento T3 (Micobiol) (Cuadro 1 y 2).

Cuadro 1. Comparación de medias de las variables peso de fruto, diámetro polar y ecuatorial del fruto correspondiente a la variedad saladette.

TRT	PF	DPF	DEF
T1 (Control)	104.30a	62.01b	53.66
T2 (Activane)	106.16a	62.66b	50.45
T3 (Micobiol)	112.44a	66.59a	49.42
T4 (Stemicol)	95.10b	61.20b	48.91

Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa ($P < 0.05$)

PF: Peso de fruto, **DPF:** Diámetro polar de fruto, **DEF:** Diámetro ecuatorial de fruto.

Cuadro 2. Comparación de medias de las variables peso de fruto, diámetro polar y ecuatorial de los frutos correspondientes a la variedad bola.

TRT	PF	DPF	DEF
T1 (Control)	177.17a	54.03	73.56ab
T2 (Activane)	165.24b	53.71	74.38a

Las variables evaluadas permiten conocer el balance entre el peso y el diámetro de fruto en la cosecha de las dos variedades de tomate. El rango del peso obtenido en el presente trabajo coinciden a los reportados por Grijalva et al. (2009). En tomate saladette, el peso del fruto de un tomate obtuvo entre 90–120 grs. Mientras que en tomate bola el peso del fruto de un tomate obtuvo entre 160–220 grs respectivamente. Por otro parte, Hernández et al., (2020). Al evaluar inductores de resistencia al TMV en toma, encontraron que en el tratamiento testigo positivo donde ocurrió el mayor peso de fruto.

Rendimiento por número de fruto cosechado

Se obtuvo el mayor rendimiento con respecto al número y peso de frutos (Kg) cosechados en las plantas tratadas, en comparación con las no tratadas. El análisis estadístico no presentó diferencia significativa para peso de fruto en las dos variedades. Sin embargo, se registró diferencia significativa en el número de fruto para las dos variedades, obteniéndose la mayor respuesta en el tratamiento T2 (Activane) con 252 en saladette y T4 (Stemicol) con 166 en bola (Figura 1 y 2).

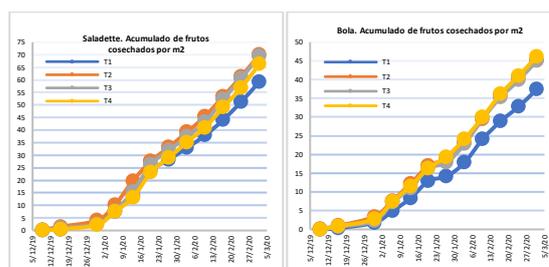


Figura 1. Rendimiento de frutos cosechados de las dos variedades durante el ciclo verano 2019 a primavera 2020.

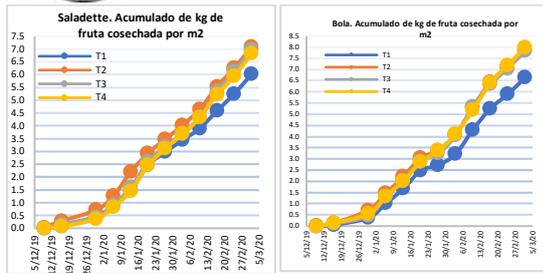


Figura 2. Rendimiento de las dos variedades (kg/m²) durante el ciclo verano 2019 a primavera 2020.

Los resultados obtenidos en relación a la producción total en las dos variedades cosechadas durante el ciclo verano-otoño 2019 e invierno-primavera 2020 no mostraron diferencia significativa entre los tratamientos evaluados para ambas variedades. Siendo el T1 (Control) el que presentó la menor respuesta en número y peso de fruto. Los elicitores incrementaron el número de frutos de las plantas tratadas y evitaron la reducción en el rendimiento total. Estos resultados coincidieron con Gracia *et al.* (2018). Quienes al evaluar el efecto de dos elicitores sobre el cultivo de tomate encontraron que la aplicación de elicitores de origen natural provenientes de extractos de plantas tuvo un efecto positivo sobre la altura de las plantas tratadas, la acumulación de biomasa evitó la reducción en el rendimiento. Por otro parte, según lo reportados por Grijalva *et al.* (2009). Indican una media de producción en tomate bola, de 25.3 kg/m², y para saladette como el más consistente, con una media de producción de 26.1 kg/m² durante tres años bajo condiciones de invernadero.

Determinación del Color

El color del fruto maduro debe ser rojo intenso y uniforme. La percepción visual no fue diferente entre los tratamientos para las dos variedades evaluadas y el periodo de evaluación.

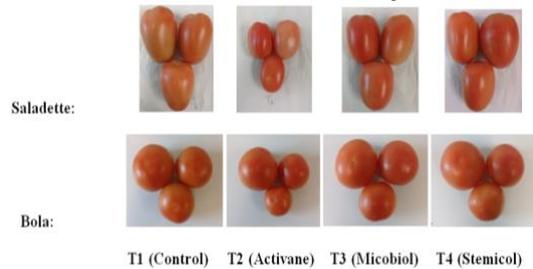


Figura 3. Fruto maduro de color rojo intenso y uniforme en ambas variedades durante su maduración a partir de la cosecha, durante los ciclos verano 2019 a primavera 2020.

Cuadro 3. Comparación de medias de las coordenadas de color correspondientes a la variedad saladette.

TRT	L*	h*	a*	b*	C*	IC
T1 (Control)	36.57	46.18	20.70	21.50 b	29.84 b	27.06
T2 (Activane)	37.11	50.38	19.96	23.76 ab	31.50 ab	23.52
T3 (Micobiol)	34.97	46.19	21.51	22.41 ab	31.12 ab	27.06
T4 (Stemicol)	35.78	47.36	21.87	23.93 a	32.51 a	26.08

Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa (P<0.05)

L*: Luminosidad, h*: Ángulo de matiz, a*: Contribución del rojo, b*: Contribución al amarillo, C*: Croma, IC: Índice de color.

Cuadro 4. Comparación de medias de las coordenadas de color correspondientes a la variedad bola.

TRT	L*	h*	a*	b*	C*	IC
T1 (Control)	38.7 6	48.5 5 c	18.1 0	20.5 3	27.44	23.1 0 a
T2 (Activane)	39.1 6	54.1 7 a	16.1 3	22.4 5	27.79	18.8 0 b
T3 (Micobiol)	38.8 6	51.4 5 b	18.0 5	22.3 6	28.86	21.1 9 ab
T4 (Stemicol)	38.2 6	50.4 5 b	17.8 2	21.6 1	28.17	22.0 5 ab

Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa (P<0.05)

L*: Luminosidad, h*: Ángulo de matiz, a*: Contribución del rojo, b*: Contribución al amarillo, C*: Croma, IC: Índice de color.

Coordenada (a*: b*: C*)

El análisis estadístico del parámetro a*, bajo las condiciones del estudio, no



mostró diferencia significativa ($p \leq 0,05$) para las dos variedades. Mientras para los parámetros b^* y C^* mostraron diferencia significativa entre las medias correspondientes a la variedad saladette siendo el tratamientos T4 (Stemicol) que más influye sobre estas coordinadas (Cuadro 3). Estos resultados pudieron deberse a los diferentes tiempos de degradación de la clorofila en cada variedad, por su contenido y actividad de clorofilasas y la presencia de otras enzimas degradantes, o a la facilidad de degeneración de las estructuras cloroplásticas (Hornero-Méndez y Mínguez-Mosquera, 2002). Por otro parte, López y Gómez (2004) reportaron que, para frutos de jitomate, la coordenada C^* no es un indicador adecuado de madurez, ya que esencialmente es una expresión de pureza para un color específico.

Ángulo de matiz (h^*)

El análisis estadístico de los valores de color expresado como ángulo de matiz (h^*), mostró diferencia significativa para la variedad bola, mientras que para Saladette no mostró diferencia significativa entre las variables. Los valores de esta coordenada cilíndrica mostraron un valor alto para el tratamiento T2 en las dos variedades (54.17 y 50.38), siendo el T1 el que presento los valores más bajos de ángulo de matiz (h^*) (Cuadros 3 y 4). López y Gómez (2004), reportaron valores de h^* de 59,3 para frutos en madurez de consumo (color rojo). De forma similar, Santamaría *et al.* (2009), reportaron valores de h^* con 65 cuando el fruto alcanzó la madurez de consumo.

Índice de color (IC)

El análisis estadístico de los valores obtenidos para el índice de color, mostró diferencia significativa para la variedad bola, mientras que la variedad Saladette no existió diferencia significativa entre las variables (Cuadro 3 y 4), los valores

más bajos fueron en los T2 (Activane) en ambas variedades con (18.80 y 23.52), seguidos por los tratamientos T4 (Stemicol), T3 (Micobiol) y T1 (Control). Estos resultados los podemos comparar con los índice de color para jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) obtenidos por López y Gómez (2004), quienes encontraron una correlación directa entre esta expresión y el grado de maduración, con valores de IC alrededor de 21,8 para frutos en madurez de consumo.

Determinación de sólidos solubles (Grado Brix)

En este estudio, la cantidad de sólidos solubles ($^{\circ}$ Brix) registró diferencia significativa para la variedad saladette, obteniéndose el valor más bajo para el tratamiento T3 (Micobiol) con 5.26, seguida por T2 (Activane), T1 (Control) y T4 (Stemicol) con valores de 5.37, 5.43 y 5.52, respectivamente. Mientras que para la variedad bola no mostró diferencia significativa entre las variables (Figura 4). Estos resultados coinciden con los reportados por Ramírez-Godina *et al.* (2013), quienes indicaron un rango de 5,95 a 6,63 $^{\circ}$ Brix, con diferencia significativa entre las poblaciones de diferentes variedades de tomate.

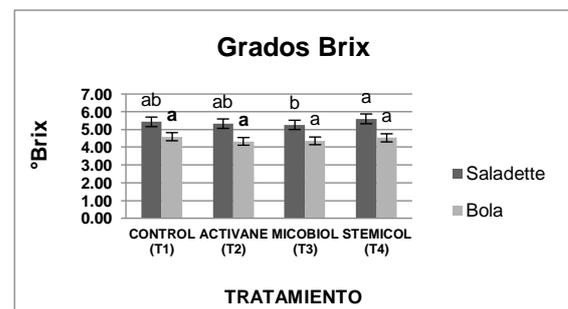


Figura 4. Comparación de medias de Grado Brix correspondientes a las dos variedades durante la maduración a partir de la cosecha, durante el ciclo verano 2019 a primavera 2020.

Determinación de pH

En este estudio se encontró diferencia significativa ($p \leq 0,05$) para el pH en la variedad saladette, mientras que la



variedad bola presentó acidez de 4.46 de pH. Los valores de pH reportados se encuentran dentro del rango (4.23 – 4.59) obtenido para los cuatro tratamientos de ambas variedades. El análisis estadístico no presentó diferencia significativa para las variables de la variedad bola (Figura 5). Los encontrados fueron similares a los reportados por Jiménez et al. (2012), quienes señalaron un rango de 3.51 a 4.51, entre tres genotipos y variedades de tomate con diferencia significativa por efecto de la fecha de corte.

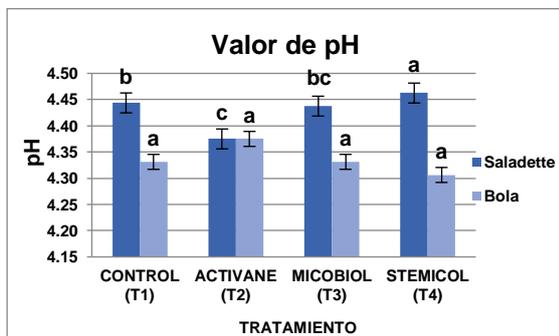


Figura 5. Comparación de medias de pH correspondientes a las dos variedades durante su maduración a partir de la cosecha, durante el ciclo verano 2019 a primavera 2020.

Acidez titulable

Para las variedades de tomate estudiadas, el análisis estadístico con respecto a la acidez de los frutos de tomate, marcó diferencia significativa para las dos variedades (Figura 6), siendo el más alto el T2 (Activane) con 0.52% de ácido cítrico, seguida por los otros tres tratamientos con un promedio de 0.35%.

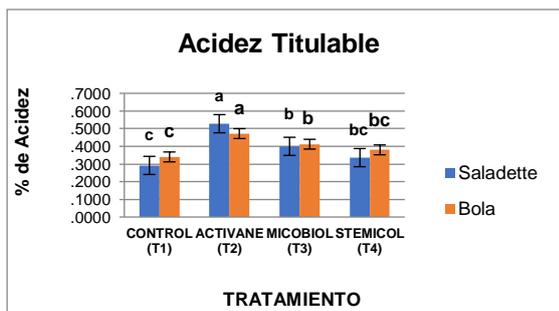


Figura 6. Comparación de medias de acidez titulable en las dos variedades durante la

maduración a partir de la cosecha, durante el ciclo verano 2019 a primavera 2020.

Los resultados de ácido cítrico presente muestran que el tratamiento T2 activane es el que más influye sobre esta variable. Estos resultados coinciden con Nielsen (2009). Quien reportó que la cantidad típica de acidez en tomate es el ácido cítrico y oscila entre 0.2 - 0.6.

Incidencia y severidad de enfermedades

La incidencia de enfermedades, se observó mayormente en plantas del T1. Sin embargo, el resultado de los demás tratamientos (T2, T3 y T4), se observó incidencia de (3 – 17%) para la variedad bola y (3 – 7 %) para saladette (Cuadro 5). Mientras que, el análisis de tejido de las plantas enfermas mostraron resultados positivos a bacterias (*Enterobacter cloacae*), hongos (*Oidiopsis taurica*) y virus (TYLCV) se observaron en un transiluminador de luz UV (UVPMP) los resultados de muestras dio positiva a la amplificación (Figura. 7). Y sus secuencias fueron comparadas con secuencias del GenBank para corroborar su identidad.

Cuadro 5. Incidencia y severidad de enfermedades en tomate bola y saladette en el invernadero Israelita FAUANL.

	Tomate Bola											
	Bacteria (<i>Enterobacter Cloacae</i>)				Hongo (<i>Oidiopsis sp.</i>)				Virus (TYLCV)			
	Incidencia (%)			Severidad (%)	Incidencia (%)			Severidad (%)	Incidencia (%)		Severidad (%)	
50 Ddt	100 Ddt	150 Ddt	50 Ddt		100 Ddt	150 Ddt	50 Ddt		100 Ddt	150 Ddt		
T1	6	10	17	80	-	10	45	40	-	-	3	5
T2	-	3	3	20	-	7	20	20	-	-	-	-
T3	6	6	6	40	-	6	22	20	-	-	-	-
T4	6	6	6	40	-	6	25	20	-	-	3	5
Tomate Saladette												
T1	-	-	-	-	-	7	21	20	-	-	3	5
T2	-	-	-	-	-	6	19	10	-	-	-	-
T3	-	-	-	-	-	6	13	10	-	-	-	-
T4	-	-	-	-	-	6	16	10	-	-	-	-

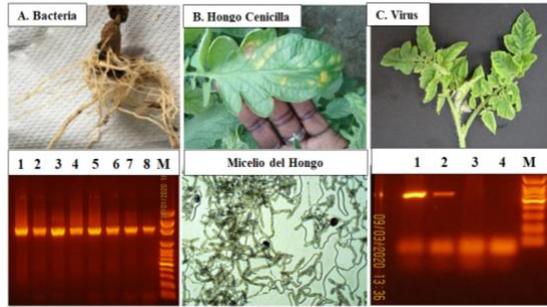


Figura 7. A). Amplificación por PCR de la bacteria fitopatógeno en carril 3. **B).** Identificación morfológica del hongo fitopatógeno cenicilla con fotografía microscópicas del micelio del hongo. **C).** Amplificación por PCR del ADN del virus (TYLCV) en los carriles 1-2, muestras del tomate de invernadero de la FAUANL. (M) marcador de peso molecular.

La aplicación de los elicitores disminuyó la incidencia de los síntomas de las enfermedades durante el transcurso del ciclo para las plantas tratadas. Los tratamientos T3 y T4 tuvieron mayor efecto positivo sobre la incidencia de enfermedades. Según, García et al. (2018). encontraron que la aplicación de los elicitores no solo se observó la disminución de los síntomas de incidencia de la enfermedad, sino que también promovió la acumulación de biomasa seca total, el incremento de la altura y una pérdida del rendimiento menor por planta en comparación con las plantas que no fueron tratadas. Como se mostró en ambos experimentos, donde la incidencia de las enfermedades y la severidad de sus síntomas durante las evaluaciones se redujeron por la aplicación de los elicitores, esto pudiera deberse a que los compuestos activos aplicados de estos elicitores, activaron algún mecanismo relacionado a la defensa de la planta, para hacer frente estas condiciones.

Conclusiones

1. Se obtuvieron mayores rendimientos en plantas tratadas con los elicitores y se modificaron las variables de peso, diámetro polar, °Brix, pH y ácido titulable en fruto.

2. La aplicación de los elicitores disminuyó la incidencia y severidad en las plantas tratadas.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y la Facultad de Agronomía – UANL.

Referencias Bibliográficas

- Allende C. (2017). Manual de cultivo del tomate. INIA La Cruz. Boletín INIA/N°11. INIA-INDAP, Santiago. ISSN 0717-4829.
- Benito-Bautista, P., Arellanes-Juárez, N y Pérez-Flores, M. E. (2016). Color y estado de madurez del fruto de tomate de cáscara. *Agron. Mesoam.* 27(1):115-130.
- FAOSTAT. (2018). Statistics Division Food and Agriculture Organization of the United Nations Viale delle Terme di Caracalla. Rome, Italy. <http://www.fao.org/faostat/en/#home>
- García, E., Robledo, A., Mendoza, B., Solís, G y González, S. M. (2018). Efecto de elicitores de origen natural sobre plantas de tomate sometidas a estrés biótico. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* Vol. esp. Núm. 20.
- Grijalva C. R. L; Robles C, F; Macías D. R. (2009). Híbridos de tomate para la producción en invernadero en el noroeste de sonora. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, Centro de Investigaciones Regional del Noroeste, Campo Experimental Caborca. Caborca, Sonora, México. p 1-34 (Folleto Científico N° 1).
- Hernández, S. R., Vargas, H. M., Zamora, M. E. (2020). Evaluación de inductores de resistencia al TMV en tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* volumen 11 número 2.



- Hornero-Méndez, D., and Mínguez-Mosquera. M. L. (2002). Chlorophyll disappearance and chlorophyllase activity during ripening of *Capsicum annuum* L fruits. *J. Sci. Food Agric.* 82:1564-1570.
- INTAGRI S. C. (2019). Tipos y Especialidades de Tomate, En línea:
<https://www.intagri.com/articulos/hortalizas/tipos-y-especialidades-de-tomate>.
- Jiménez, E. V. Robledo, T. A. Benavides, F. Ramírez, H Ramírez, y E. de la Cruz. (2012). Calidad de fruto de genotipos tetraploides de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Universidad y Ciencia* 28(2):153-161.
- López, A. F and Gómez P. A. (2004). Comparison of color indexes for tomato ripening. *Hortic. Bras.* 22:534-537.
- Marín L. L. (2017). Manual técnico del cultivo de tomate (*S. Lycopersicum*) Costa Rica. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. San José, C.R. INTA, Pp 126.
- Mota J. B. (2019). Las fitovacunas y su efecto vigorizante y protector en los cultivos. V Congreso Nacional de Fertilización y Nutrición en Hortalizas. Pp 1 – 83.
- Nielsen, S. (2009). *Food Analysis*. 4 ed. Purdue University. Editorial Springer. 587 - 657 p.
- Ramírez-Godina, F., V. Torres, R. Pournabav, A. Benavides, J. L. Hernández, M. H. Reyes, and M. A. Vázquez. (2013). Yield and fruit quality evaluation in husk tomato autotetraploids (*Physalis ixocarpa*) and diploids. *Aust. J. Crop Sci.* 7:933-940.
- Ruiz, M. Á., Rodríguez, M. S. (2014). Parámetros de calidad interna de hortalizas y frutas en la industria agroalimentaria. *Negocio Agroalimentario y Cooperativo*. Fichas de Ref. No. 005.Pp 1–18.
- Santamaría, F. E. Sauri, F. Espadas y Gil, R. Díaz, A. Saavedra, and Santamaría, J. M. (2009). Postharvest ripening and maturity indices for Maradol papaya. *Interciencia* 34:583-588.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2019. En línea: <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccionagricola-33119>.
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). 2020. Normales Climatológicas del estado de Nuevo León.
- Simmons, E. (2018). Biostimulants Working Group. AAPFCO Admin Seminar. P 1 – 52.
- Urrieta-Velázquez A., Rodríguez M., Ramírez P., Baca A. (2012). Variables de producción y calidad de tres jitomates. *Revista Chapingo* 18(3): 371-381.
- White, J., Bruns, T., Lee, S. & Taylor, J. (1990). Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. In Press, A (Ed.). Pp 315-322.
- Wyatt, S. D. and Brown, J. K. (1996) Detection of Subgroup III Geminivirus Isolates in Leaf Extracts by Degenerate Primers and Polymerase Chain Reaction. *Phytopathology*, 86, 1288-1293.



SEMESTRE V

Manejo de Plagas en el Cultivo de Cacahuate (*Arachis hypogaea* L.) en la Transición de Agricultura Convencional a un Sistema Agroecológico en San Luis Potosí

Daniel Osbaldo Ascencio-Contreras¹; Omar Guadalupe Alvarado-Gómez¹; Emilio Olivares-Sáenz¹, Ramón Jarquin-Gálvez²; José Pablo Lara-Ávila² y Verónica Ávila-Rodríguez³

¹Facultad de Agronomía, UANL. Av. Francisco Villa S/N, Col. Ex Hacienda el Canadá, 66050 Gral. Escobedo, N.L. Email: daniel2315@hotmail.com

²Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Autónoma San Luis Potosí.

³Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez del estado de Durango.

Resumen: Las poblaciones de plagas causan daños y pérdidas al cultivo del cacahuate atacando la raíz y al follaje y deben ser controladas. La mayoría de los productores aplican químicos sin tener las debidas precauciones, las cuales no se recomiendan por el daño que ocasionan a la biodiversidad. Un manejo agroecológico de plagas es una estrategia que busca restablecer un equilibrio entre poblaciones dañinas y benéficas, cuidando la biodiversidad y aplicando alternativas agroecológicas de control. La investigación se efectuará en una zona cacahuatera de la localidad de Morillos situada en el Municipio de Ciudad Fernández del estado de San Luis Potosí, México. El objetivo general será diseñar y evaluar la mejor alternativa de control de plagas con un manejo agroecológico que permita restablecer la biodiversidad en el cultivo y poder lograr disminuir la presencia y los daños que ocasionan las plagas y por lo tanto eliminar el uso de agroquímicos en la zona cacahuatera del estado Potosino.

Palabras claves: Manejo agroecológico de plagas, hongo entomopatógeno, bacteria entomopatógena, extractos vegetales, spinosad

Abstract: Pest populations cause damage and loss to the peanut crop by attacking the root and foliage and must be controlled. Most chemical producers without taking the proper precautions, which are not recommended due to the damage caused by biodiversity. Agroecological Pest Management is a strategy that seeks to restore a balance between harmful and beneficial populations, taking care of biodiversity and applying agro-ecological control alternatives. The investigation will be carried out in a peanut area of the town of Morillos located in the Municipality of Ciudad Fernández in the state of San Luis Potosí, Mexico. The general objective is to design and evaluate the best pest control alternative with agroecological management to restore biodiversity in the crop and to reduce the presence and damage caused by pests and therefore eliminate the use of agrochemicals in the Peanut zone of the Potosino state.

Keywords: Agroecological pest management, entomopathogenic fungus, entomopathogenic bacteria, Plant extracts, spinosad

Introducción

El cacahuete (*Arachis hypogaea* L.) es una legumbre muy apreciada en el mercado nacional e internacional por los diversos atributos que presenta, como abundante

en fibra, proteínas, aminoácidos, antioxidantes y ácidos grasos. Es utilizado en la gastronomía, industria alimentaria y México es reconocido como centro de diversificación de diferentes materiales genéticos que se cultivan de *A. hypogaea*



(Hammons *et al.* 2016). La superficie total nacional de cacahuete abarca las 52,602.81 ha, destacando el estado de Sinaloa con la mayor superficie, seguido de los estados de Puebla y Chiapas. En San Luis Potosí los mayores productores de este cultivo se encuentran distribuidos en los municipios de San Nicolás Tolentino, Ciudad Fernández y Río Verde, y se cuenta con una superficie sembrada de 2,595.05 ha con una producción de 3,234.11 ton y rendimientos de 1.25 t/ha (SIAP, 2018).

En el transcurso del ciclo de producción del cacahuete se presentan diferentes plagas las cuales causan considerables daños y como resultado pérdidas de plantas, defoliación y daño en las vainas. Los causantes de estos daños se agrupan en dos tipos, plagas que atacan a raíces como la gallina ciega (*Phyllophaga* spp), gusano de alambre (*Agriotes lineatus*), y larvas de diabrótica (*Diabrotica balteata*); y plagas de follaje como el gusano falso medidor (*Trichoplusia ni*), gusano soldado (*Spodoptera exigua*), diabrótica (*Diabrotica balteata*), araña roja (*Tetranychus urticae*), chicharrita (*Empoasca fabae*) y trips (*Frankliniella* spp) (Garrido *et al.* 2011). Regularmente las poblaciones de las plagas causan daños y pérdidas al cultivo y deben ser controladas. La mayoría de los productores aplican químicos como manera de control sin tener las debidas precauciones, las cuales no se recomiendan por el daño que ocasionan ya que daña la biodiversidad que ayuda a controlar naturalmente a estas plagas como los depredadores y parasitoides, más aparte pueden causar aparición de plagas secundarias, aumento de poblaciones primarias y además se eleva el costo de producción (Kahl, 2013).

El Manejo Agroecológico de Plagas (MAP), es el proceso de llevar a cabo una estrategia que busca restablecer un equilibrio entre poblaciones de insectos

dañinas y benéficas, cuidando la biodiversidad y aplicando alternativas de control evitando el uso de químicos. El MAP involucra el uso de extractos vegetales, hongos y bacterias entomopatógenos, trampas de colores, plantas trampa, plantas repelentes, trampas de feromonas, siembra en policultivo y control biológico (Prager *et al.* 2002). Las plantas emiten una gran cantidad de compuestos químicos que pueden afectar el comportamiento de los insectos, esta respuesta puede ser de manera atrayente o repelente, pudiendo afectar la alimentación, refugio y ovoposición. Como alternativa al uso de químicos los extractos vegetales actúan repeliendo y disuadiendo a insectos plaga, también estimula a los cultivos fortaleciéndolos y protegiéndolos de ataques futuros (Silva *et al.* 2002). En el caso del árbol del neem, causa disrupción en el crecimiento y reproducción de algunos insectos y tiene efecto anti-alimentario (García *et al.* 2012). Los hongos entomopatógenos son microorganismos que se utilizan en sistemas agroecológicos con capacidad de control biológico. Entre estos se encuentra *Beauveria bassiana*, el cual es utilizado para el control de plagas agrícolas, este hongo es de un amplio espectro para el control de insectos plaga (Huerta *et al.* 2018). Su modo de acción es destruyendo la cutícula de insectos, lo cual provoca su deshidratación y absorbe al hongo al interior de sus células (García *et al.* 2012). *Bacillus thuringiensis*, es una bacteria entomopatógena utilizada como una herramienta de biotecnología, ya que está compuesta por diversas estructuras proteicas denominadas Cry y Cyt, la cuales se convierten altamente tóxicas contra insectos de ordenes lepidóptera, díptera, coleóptera, himenóptera, homóptera, ortóptera; estas proteínas son utilizadas ampliamente como bioplaguicidas (Van, 2009). Una forma de



monitoreo y control es el trampeo físico, basado en atracción cromotrópica que diversos colores ejercen sobre determinadas especies de insectos, utilizando mayormente trampas de color verde-amarillo las cuales son atractivas para especies de los géneros *Bemisia* spp., *Empoasca* spp., *Myzus* spp. y dípteros. Las azules atraen a especies del género *Frankliniella* spp. (Castresana *et al.* 2019). El uso del Ingrediente Activo Spinosad, es altamente efectivo como material de amplio espectro, tiene efecto de contacto estomacal contra diferentes lepidópteros, dípteros, hormigas y trips (García *et al.* 2012). Con todas estas herramientas nuevas, surge la necesidad de avanzar hacia una propuesta productiva con un enfoque agroecológico que resuelva o minimice los problemas generados por el modelo convencional. Pero transformar sistemas convencionales a sistemas ecológicos es un proceso complejo, donde participan distintas escalas de territorio y comunidades locales y a su vez se ve afectado por factores sociales, económicos, tecnológicos, culturales, políticos y ecológicos (González, 2012). Una preocupación importante en la propuesta agroecológica es el mantenimiento y el incremento de la biodiversidad y el papel que puede jugar en la restauración del equilibrio ecológico en los agroecosistemas y en la consecución de una producción estable (Vázquez y Martínez, 2015). En la agricultura de transición podemos analizar en qué prácticas los productores están afectando negativamente a su biodiversidad, para de esta manera enfocar los esfuerzos en dichas prácticas, modificarlas progresivamente y acercarnos cada vez más a las prácticas agroecológicas. En el cultivo de cacahuate se cuentan con reportes de producción orgánica en el sur de Jalisco (Gerritsen *et al.* 2012, Bautista *et al.* 2005), en producción agroecológica

con policultivos con maíz, agave y frijol (Herrera *et al.*, 2017) y utilización de lombricomposta e insumos agroecológicos en Chiapas (Oseguera *et al.*, 2019). La hipótesis del trabajo es que en la transición de la producción convencional a lo agroecológico se elimine el uso de agroquímicos utilizando las alternativas agroecológicas disponibles para disminuir insectos perjudiciales y obtener un equilibrio con insectos benéficos en el cultivo del cacahuate en el estado de San Luis Potosí. El objetivo general será diseñar y evaluar una alternativa de control de plagas mediante un manejo agroecológico que permita restablecer la biodiversidad en el cultivo y disminuir la presencia y los daños que ocasionan las plagas eliminando el uso de agroquímicos en la zona cacahuatera del estado Potosino.

Materiales y Métodos

La investigación se efectuará en una parcela de cacahuate ubicada en la localidad de Morillos la cual está situada en el Municipio de Ciudad Fernández del estado de San Luis Potosí, México y sus coordenadas geográficas son (21°58'27" LN y 100°24'00" LO a 1260 msnm). En la parcela se delimitará una hectárea libre de químicos y se asegurará que en parcelas vecinas tampoco se hagan aplicaciones para evitar inconsistencias en la investigación. Se estarán realizando observaciones durante dos ciclos agrícolas con duración de un año cada uno para plantear alternativas agroecológicas que contribuyan al mejoramiento de las prácticas agrícolas al interior de los sistemas productivos.

Siembra

Las siembras de los dos ciclos se realizarán en junio y el ciclo vegetativo durará de 120 a 150 días, dependiendo de



las condiciones climáticas, ya que es un cultivo de temporal. Se utilizará la variedad Criolla de la propia región con una densidad de semilla de 35-40 kg/ha para obtener una densidad aproximada de 40,000 plantas por hectárea (SEDARH, 2008).

Colectas e identificaciones

Las colectas se realizarán con apoyo de una red entomológica, con la cual se busca perturbar a los insectos que se esconden en la vegetación y usualmente vuelan, esta actividad se realiza cuando el cultivo este más avanzado y tenga suficiente follaje. Con la ayuda de unas pinzas y de un frasco aspirador para coleccionar directamente de la vegetación, tallo, flor o incluso para remover algunos de la red, el frasco consiste en un tubo de plástico o vidrio de unos 20 a 25 cm, insertando dos mangueras de hule y en uno colocar un filtro para evitar tragar los insectos. En cada área se colocarán trampas pegajosas cromáticas de color amarillo y azul con medidas de 25x20 cm a una altura de 50 cm, con el fin de ser usadas para el monitoreo. También se pondrán en el suelo bandejas de agua las cuales se llenarán hasta la mitad de su capacidad y se le agregara jabón en polvo para romper la tensión superficial y evitar que los insectos puedan escapar. En los diferentes métodos de colecta, los insectos que se encuentren se resguardarán y se mantendrán en alcohol al 70% para posteriormente identificarlos taxonómicamente en el laboratorio de Fitopatología y Entomología de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Dinámica poblacional de insectos

Desde el inicio y hasta finales del ciclo vegetativo se realizarán observaciones y

colectas de insectos cada semana.

Se utilizará una metodología de muestreo para las colectas basado en Meneses *et al.* (2001), la cual consiste en seleccionar diez áreas distribuidas en toda la parcela y en cada una de ellas veinte plantas. En el primer año se pretende identificar que insectos benéficos y plagas están presentes y en qué momento se van presentando para poder elaborar un plan de control agroecológico. Durante esta etapa se tendrán en cuenta las condiciones de temperatura, humedad y precipitación. Los datos obtenidos serán sometidos a un análisis de correlación en el programa estadístico SPSS (Versión 21).

Control de plagas

En el segundo año se llevará a cabo un manejo agroecológico de plagas, durante todo el ciclo vegetativo, utilizando: una bacteria y un hongo entomopatógeno, diferentes extractos vegetales y un insecticida comercial de origen natural, las aplicaciones se comenzarán cuando se observe presencia de plagas y se realizarán cada quince días por la mañana con apoyo de una mochila aspersora. Las variables a evaluar serán: el número de insectos perjudiciales y benéficos presentes por planta y por área de estudio y el rendimiento del cultivo.

Se utilizará un diseño de bloques completamente al azar y se evaluarán 6 tratamientos con 5 repeticiones. La UE es de 5 surcos de 5 m. Los tratamientos a evaluar serán los siguientes:

1. Hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana*
2. Bacteria entomopatógena *Bacillus thuringiensis*
3. Extracto de hojas y semillas del árbol del Neem, (*Azadirachta indica*)
4. Extractos de Ajo (*Allium sativum*) y Chile (*Capsicum annuum*).



5. Insecticida natural Escolta, I. A. Spinosad

6. Testigo

Los datos obtenidos serán sometidos a un Análisis de Varianza en el programa estadístico SPSS (Versión 21).

El hongo entomopatógeno *B. bassiana* se adquirirá en la Junta local de sanidad vegetal del altiplano centro del estado de San Luis Potosí, ubicado en Villa de Arista. Se aplicará una dosis de 22 g/20 L de agua, obtenido de la conversión de la dosis recomendada por la junta local.

La bacteria entomopatógena *Bacillus thuringiensis*, también se conseguirá en la Junta local de sanidad vegetal del altiplano centro del estado de San Luis Potosí. La dosis de aplicación será de 100 ml/20 L de agua, obtenido de la conversión de la dosis recomendada por la junta local.

Para realizar los extractos de neem (*Azadirachta indica*), ajo (*Allium sativum*) y chile habanero (*Capsicum chinense*) se seguirán las metodologías de Sabillón y Bustamante (1995) y Bordones *et al.* (2018), buscando la manera de realizar una extracción casera para poder transmitirlo a los productores.

El extracto de Neem se preparará en agua triturando hojas y semillas frescas, se dejará reposar por un tiempo de 48 horas y después se filtrará con una manta para poder obtener el líquido y poder utilizarlo. Se aplicará una dosis de 1 kg/20 L de agua.

Para el extracto de ajo y chile, se utilizarán 500 g de ajo y 500 g de chile, serán triturados completamente, para después mezclarlos en 20L de agua, posteriormente se dejarán reposar aproximadamente 24 horas, después se calentarán en una hoyita de cocina durante 5-10 minutos, como paso final se dejarán nuevamente en reposo durante otras 24 horas y finalmente se aplicará.

El insecticida de origen natural, de la empresa Polaquimia®, con nombre del producto "Escolta", la dosis que se aplicará

será de 8 ml/20 L de agua y se aplicará solamente tres veces durante el ciclo, esto por las recomendaciones del fabricante. Por último, un testigo en el cual no se realizará ningún tipo de control de plagas.

Plan de trabajo y calendarización

Cronograma de actividades	2021				2022			
	Mayo	Junio	Junio-Octubre	Noviembre	Mayo	Junio	Junio-Octubre	Noviembre
Reunión con productores de cacahuete	*			*	*			*
Preparación del terreno		*				*		
Siembra		*				*		
Instalación de trampas cromáticas de color y de agua		*				*		
Dinámica poblacional			*					
Colecta de Insectos			*				*	
Identificación de insectos			*				*	
Aplicación de extracto de Ajo y Chile							*	
Aplicación de extracto de Neem							*	
Aplicación de <i>Beaveria bassiana</i>							*	
Aplicación de <i>Bacillus thuringiensis</i>							*	
Aplicación de Escolta I.A. spinosad							*	
Análisis de Resultados			*	*			*	*
Rendimiento del cultivo				*				*
Toma de datos	*	*	*	*	*	*	*	*
Exposición de resultados				*				*
Curso-taller para productores en el uso de alternativas con un manejo agroecológico para el control de plagas								*

Desglose financiero

Concepto	Monto
Preparación del terreno	\$9650.00
Establecimiento del cultivo	\$2950.00
Labores culturales	\$2500.00
Trampas cromáticas y de agua	\$1800.00
Instrumentos para colectas de insectos y mochila aspersora	\$1300.00
Extracto Ajo y Chile	\$1850.00
Extracto Neem	\$850.00



<i>Beaveria bassiana</i>	\$880.00
<i>Bacillus thuringensis</i>	\$1300.00
Insecticida Escolta I.A. Spinosad	\$740.00
Curso-taller para productores	\$2300.00
Combustible y viáticos	\$27,900.00
Total	\$54,000.00

Agradecimientos

A CONACYT por la beca otorgada para llevar a cabo mis estudios de posgrado.

Referencias Bibliográficas

- Bautista, P. F., Gerritsen, P. R., López, V. M. V., y Sandoval, G. C. (2005). Articulando la sostenibilidad ecológica, económica y social: el caso del cacahuate orgánico. *Economía, sociedad y territorio*, (19): 477-497.
- Bordones, A., De Gracia, N., Domiciano, D., Rodríguez, R., y Chen, A. (2018). Comparación de la efectividad en la protección de cultivos de tomates con insecticidas orgánicos a base de: ajo (*Allium sativum*) y Nim (*Azadirachta indica*). *Revista de Iniciación Científica* (4): 39-42.
- Castresana, J. E., Rosenbaum, J., y Gagliano, E. (2019). Transición del manejo de plagas convencional hacia el agroecológico mediante la transferencia de técnicas de control integrado de plagas en tomate bajo cubierta en Concordia-Provincia de Entre Ríos, Argentina. *Idesia (Arica)* 37(3): 17-27.
- García, G. C., Gómez, P. R., López, A. C. E., y León, V. A. (2012). Insecticidas biorracionales para el control de mosquitos y moscas negras en Sinaloa. *Ra Ximhai*, 8(3): 47-55.

- Gerritsen, P. R., Adame, J. J. R., Hernández, A. M., y Rivera, L. M. M. (2012). Sistemas productivos y sustentabilidad rural en la costa sur de Jalisco en el occidente de México (31):1-19
- González de M. M. (2012). Algunas notas sobre agroecología y política. *Agroecología* (6): 9-21.
- Hammons, R. O., Herman, D., & Stalker, H. T. (2016). Origin and early history of the peanut. In: Stalker, H.T. and R.F. Wilson (eds). *Peanuts Genetics, Processing and Utilization*. AOCS Press. 1-26.
- Herrera P. L., Valtierra P, E., Ocampo F, I., Tornero C, M. A., Hernández P, J. A., y Rodríguez M, R. (2017). Prácticas agroecológicas en Agave tequilana Weber bajo dos sistemas de cultivo en Tequila, Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(18): 3711-3724.
- Kahl, M. B., (2013). Principales características de los insecticidas utilizados en el cultivo de soja. INTA, *Estación Experimental Agropecuaria Paraná. Serie Extensión Digital, Segundo Trimestre*, (5): 31-50.
- Meneses, C. R., Gutiérrez, Y. A., García, R. A., Antigua, P. G., Gómez S. J., Victoria, C., y Calvert, L. A. (2001). Guía para el trabajo de campo en el manejo integrado de plagas del arroz. *Fondo Latinoamericano para arroz de riego* (FLAR). (4): 10-11.
- Oseguera, C. A. R., Ramírez, A. E. C., Martínez, N. S. L., Solís, J. D. Á., y Lwanga, E. H. (2019). Vermicompost to recover the fertility of sandy loam soil and peanut (*Arachis hypogaea* L.) yield. *Terra Latinoamericana*, 37(1): 45-56.
- Prager, M.M., Restrepo, M, J, M., Sánchez, Á., Malagón, M. D. I., y Zamorano M. A. (2002). Agroecología: Una disciplina para el estudio y desarrollo de sistemas



- sostenibles de producción agropecuaria. *Editorial UN*. 306-321.
- Garrido., R. E. R., López., L. A., Noriega., C. D. H., y Hernández., G. E. (2011). Principales plagas y enfermedades del cacahuate en Chiapas. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Campo Experimental Centro de Chiapas. Folleto para productores No. 11. 41p.
- Huerta, R. A., López, P. L., Enríquez, V. J. N., Guízar, G. C., Rincón, E. G., Quiñones, A. E. E., Lobit, P., y Gómez, D. N. (2018). Presencia de hongos entomopatógenos nativos en suelos cultivados con maíz del municipio de Epitacio Huerta, Michoacán. *Biotecnología y Sustentabilidad*, 3(2): 9-9.
- Sabillón, A., y Bustamante, M. (1995). Evaluación de extractos botánicos para el control de plagas del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Revista CEIBA* 36 (5): 179-186.
- SEDARH, (2008). Plan rector del sistema producto cacahuate. Secretaria de Desarrollo Agropecuario y Recursos Hidráulicos Sistema producto cacahuate San Luis Potosí. 19-21.
- Gonzalo, S. A., Lagunes, T. A., Rodríguez M. J. C., y Rodríguez, L. D. (2002). Insecticidas vegetales: Una vieja y nueva alternativa en el manejo de insectos. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, 66, 4-12.
- Van, F. K. (2009). Insecticidal activity of *Bacillus thuringiensis* crystal proteins. *Journal of Invertebrate Pathology*, 101(1): 1-16.
- Vázquez, L. L. y Martínez, H. (2015). Propuesta metodológica para la evaluación del proceso de reconversión agroecológica. *Agroecología*, 10(1): 33-47.



Efecto de extractos vegetales sobre la mortalidad *raoiella indica* hirst (Acari: Tenuipalpidae)

Karen Zuleyma Ruiz-Jiménez¹; Mariano Flores-Dávila²; Rodolfo Osorio-Osorio³ J. Guadalupe Gutiérrez-Soto¹; Luis Alberto Aguirre-Uribe² Gerardo Méndez-Zamora¹

¹Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía. Av. Francisco Villa S/N, Col. Ex Hacienda el Canadá.

²Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de Parasitología Agrícola. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, 25315 Saltillo, Coah.

³Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Agropecuarias. Carretera Villahermosa- Teapa Km 25 R/a La Huasteca, Centro. Email: kzruiz89@gmail.com

Resumen: El ácaro rojo de las palmas (*Raoiella indica* Hirst) es una plaga cuarentenaria en México en el 2009, desde entonces se han aplicado acaricidas para su control; sin embargo, la utilización de estos productos puede generar resistencia y daño al medio ambiente. Este estudio tuvo como objetivo evaluar extractos vegetales de *Citrus latifolia* Tanaka, *Ruta graveolens*, *Azadirachta indica*, y dos especies de orégano *Plectranthus amboinicus* y *Lippia berlandieri* Schauer en hembras de *R. indica* en condiciones de laboratorio. El trabajo consistió en evaluar 0.0, 0.25, 0.50, 0.75 y 1.0 mL/L de solución de cada extracto. La mortalidad se evaluó a las 24, 48 y 72 h. Los extractos que presentaron el mayor porcentaje de mortalidad fueron *L. berlandieri*, *A. indica* y *P. amboinicus* con el 100, 91 y 78 % de mortalidad, respectivamente. Estos resultados que los extractos pueden ser una alternativa viable dentro de un manejo integrado de esta plaga.

Palabras clave: acaricida, biológico, bioactivo, eficiencia, plantas

Abstract: The red palm mite (*Raoiella indica* Hirst) is a quarantine pest that was in Mexico in 2009, consequently the acaricides have been applied for its control; however, the use of these products can generate resistance and damage to the environment. the present study aimed to evaluate the plant extracts of *Citrus latifolia* Tanaka, *Ruta graveolens*, *Azadirachta indica*, and two oregano species *Plectranthus amboinicus* and *Lippia berlandieri* Schauer on *R. indica* females under laboratory conditions. The study evaluated 0.0, 0.25, 0.50, 0.75 and 1.0 mL/L of vegetal extract each. Mortality was evaluated at 24, 48 and 72 h after applying the treatment. The extracts that presented the highest mortality were *L. berlandieri*, *A. indica* and *P. amboinicus* with 100, 91 and 78%, respectively. The results indicated that extracts can be a natural alternative to pest integrated management.

Keywords: acaricide, biological., bioactive, efficiency, plants

Introducción

El ácaro rojo de las palmas (*Raoiella indica* Hirst) es una plaga que tiene como hospedantes a diferentes cultivos como

bananos, plátanos (*Musa* spp.), palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.), especies de palmas ornamentales y heliconias destacando entre éstos el cultivo de palma de coco (Carrillo *et al.*,



2012). Los daños de este ácaro se manifiestan en las hojas maduras del cultivo de cocotero, aunque también puede atacar hojas tiernas y suculentas (Kane *et al.*, 2012). El ataque es en la parte media de la hoja, en el dosel inferior de la planta donde el área foliar se torna amarillenta y puede llegar a marchitarse por completo (Hoy, 2006; Peña *et al.*, 2012). La presencia de *R. indica* en todos sus estadios, genera amarillamientos localizados en las hojas, los cuales con el tiempo incrementan, formando parches cloróticos de mayor tamaño e incluso con necrosis generalizada que reduce el área foliar fotosintéticamente activa (Kane y Ochoa, 2006). Rodríguez *et al.* (2007) afirmaron que la alimentación continua del ácaro rojo puede llevar a la muerte de las plantas y que, a pesar de la resistencia de estas al ataque del ácaro, el daño que causa puede afectar su desarrollo. Los daños de esta plaga pueden repercutir en la producción; en la India se registran pérdidas hasta del 87% en cocoteros de todas las edades (Dominique, 2001), en Trinidad y Tobago provocó una reducción del 75% en frutos (Peña *et al.*, 2006) en Venezuela ocasionó la pérdida del 70% de frutos (Roda *et al.*, 2012).

Para el control del ácaro rojo se recomienda la aplicación de acaricidas abamectina, spiroidiclofen y azufre elemental, autorizados por la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) (SENASICA, 2015). Sin embargo, usar plaguicidas por mucho tiempo provoca un desequilibrio ecológico, efectos secundarios sobre enemigos naturales y contaminación ambiental (Stumpf y Nauen, 2002; Kim *et al.*, 2004). Debido a esto, se buscan nuevas alternativas al uso de plaguicidas químicos como los bioplaguicidas naturales a partir de extractos vegetales (ExV). Los ExV son

derivados de algunas partes o ingredientes activos de plantas que han coevolucionado a la resistencia del ataque de fitopatógenos, produciendo sustancias en su defensa como las saponinas, taninos, alcaloides, di y triterpenoides. Los metabolitos secundarios son, normalmente no-esenciales para el proceso metabólico básico de la planta. Entre éstos se encuentran terpenos, lípidos, alcaloides, azúcares, esteroides y ácidos grasos. Semejante diversidad química es consecuencia del proceso evolutivo que ha llevado a la selección de especies con mejores defensas contra el ataque microbiano, o la depredación de insectos y animales (Astudillo, 2016). Estos compuestos se utilizan contra insectos y ácaros plaga, causando mortalidad, inhibición del crecimiento, supresión del comportamiento reproductivo y reducción de la fertilidad-fecundidad (BenJanet *et al.*, 2001). Las plantas producen más de 10,000 sustancias de bajo peso molecular (metabolitos secundarios), desarrolladas en el proceso evolutivo que lleva a la selección de especies con mejores defensas contra el ataque de patógenos (Maggi, 2004). En el desarrollo de un bioplaguicida se deben estandarizar sus métodos de extracción, y la selección de la especie de planta. Los métodos que se emplean son los bioensayos para estudiar las propiedades biocidas de las diferentes partes de las plantas, la eficacia de extractos, formulaciones y modo de acción de los ingredientes activos (Pérez, 2006).

En diversas investigaciones se han reportado la efectividad acaricida de extractos de plantas sobre *R. indica* como *Melaleuca quinquenervia*, *Cymbopogon citratus*, *Myrciaria dubia*, *Chrysanthemum cinerariifolium*, *Spilanthes acmella* y *Lippia gracilis* Schauer, los cuales son causa de mortalidad en esta plaga (Pino *et al.*,



2011; Fernández et al., 2016; Pompeu et al., 2018; Vásquez et al., 2018; Rabelo et al., 2019; Dos santos et al., 2019). En México existe poca información del uso de ExV sobre este ácaro. Sin embargo, Castillo et al. (2018) reportaron el extracto de *Plectranthus amboinicus* como repelente de esta plaga. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar la efectividad de extractos *Citrus latifolia* T. (hojas de limón), *Ruta graveolens* (ruda), *Azadirachta indica* (neem), y dos especies de orégano *Plectranthus amboinicus* y *Lippia berlandieri* Schauer sobre la mortalidad del ácaro rojo de las palmas (*Raoiella indica* Hirst) en condiciones de laboratorio.

Materiales y Métodos

Ubicación del área de estudio

El trabajo de investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Sanidad Vegetal de la División Académica de Ciencias Agropecuarias (DACA) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), ubicado en la carretera Villahermosa-Teapa Km. 25. Ranchería la Huasteca, 2ª sección, municipio de Centro Tabasco, México.

Colecta, mantenimiento de *R. indica*

Los especímenes de hembras *R. indica* fueron colectados de folíolos de palma de coco del Campo Experimental de la División Académica de Ciencias

Agropecuarias (DACA), Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) las hembras se seleccionaron por su cuerpo de forma oval y de color rojizo, con manchas oscuras sobre la parte dorsal del cuerpo (Flores-Galano et al., 2010). Las palmas de coco se encuentran infestadas de forma natural. Las muestras fueron colocadas en bolsas de cierre hermético y se trasladaron al Laboratorio de Sanidad Vegetal de la DACA, UJAT, y se colocaron en una cámara de cría a 28.0 ± 2.0 °C y 50.0 ± 10.0 % de humedad relativa.

Recolección y mantenimiento del material vegetal

En el mismo campo experimental se colectaron muestras de folíolos sanos para ser utilizados en los bioensayos, los cuales se mantuvieron en las mismas condiciones que las muestras de *R. indica*. Las hojas de limón (*Citrus latifolia* T.), ruda (*Ruta graveolens*), orégano 1 (*Plectranthus amboinicus*) y neem (*Azadirachta indica*) se colectaron de una zona rural del municipio de Huimanguillo, Tabasco, en el mes de septiembre del 2018, coordenadas $17^{\circ}86'63''$ LN y $93^{\circ}38'27''$ LO; las muestras se tomaron de plantas jóvenes, libres de plagas y enfermedades, fueron colocadas en bolsas de cierre hermético y trasladadas en una nevera convencional al laboratorio de Sanidad Vegetal de la DACA, UJAT; después se lavaron y secaron a temperatura ambiente protegiéndolas de la luz por un periodo de 15 días; una vez secas se molieron en una licuadora industrial Hammer Mill® (Modelo B2300) y tamizaron en una malla no.60 obteniendo 300 g de polvo de cada planta. El material tamizado se depositó en frascos ámbar de boca ancha con capacidad de 1 kg, para su almacenamiento y posterior extracción.



Obtención de los extractos vegetales

En los extractos de *C. latifolia*, *P. amboinicus* y *R. graveolens* se utilizó como solvente etanol al 96% (Da cámara et al., 2015; Romero et al., 2015; Peschiuta et al., 2016) y para *Azadirachta indica* acetona 70% (Ochoa et al., 2018). Se siguió la metodología de Ochoa et al. (2018), 15 g de muestra se pesaron y colocaron en un matraz Erlenmeyer de 250 mL, agregando 150 mL de solvente; posteriormente se llevó al Ultra-Turrax durante 5 s a 4000 rpm, y después se colocó en un sonicador a 40 °C por 20 min, enseguida la muestra se filtró en papel filtro Whatman n 1, se colocó en un rotavapor marca BUCHI (Modelo R-300) con una bomba de vacío en un baño de agua a 45°C para eliminar el solvente; este procedimiento se repitió hasta terminar la cantidad de muestra obtenida en polvo de cada una de las plantas. Una vez obtenido el extracto se pasó a un frasco estéril color ámbar. En el caso del orégano 2 (*Lippia berlandieri* Schauer) este se adquirió de la empresa Natural Solutions SMI, Ciudad Jiménez, Chihuahua, obtenido por arrastre de vapor (destilación). Los extractos fueron almacenados bajo refrigeración a 4 °C hasta su utilización en los bioensayos.

Diseño experimental y bioensayos

Un diseño completamente al azar fue establecido para cada ExV tuvo concentraciones de 0.0, 0.25, 0.50, 0.75 y 1.0 mL por L de solución y se incluyó un testigo de agua destilada (control negativo). Cada tratamiento estuvo integrado por 10 repeticiones con dos replicas. Los bioensayos fueron evaluados siguiendo la metodología descrita por Sánchez et al. (2017), la cual indica que cada unidad experimental por

tratamiento corresponde a una lámina foliar de 2.5 x 4 cm de foliolo de hoja de cocotero sumergida durante 10 s en la solución de cada tratamiento. Esta porción de lámina foliar se dejó secar a temperatura ambiente durante 25 min y enseguida se colocó sobre una placa de acrílico (de 5 x 5 cm) con un orificio de 2.5 cm de diámetro. Los bordes de la porción de lámina foliar fueron fijados con cinta adhesiva a la placa de acrílico, enseguida se transfirieron diez hembras adultas seleccionadas de la cría del laboratorio, para un total de 100 ácaros por tratamiento. Después, se le sobrepuso otra placa de acrílico del mismo tamaño para evitar el escape de los ácaros. Al final, este material se colocó sobre la base de una capa de algodón en una caja Petri (9 cm de diámetro), mismo que se mantuvo húmeda adicionándole agua destilada. El total de ácaros vivos y muertos se cuantificó a las 24, 48 y 72 h después de aplicado el tratamiento. Un ácaro hembra se consideró muerta si no se movía cuando era tocado por un pincel fino en su observación en el microscopio estereoscópico. En cada extracto evaluado se determinó el intervalo de concentración que ocasiona la mortalidad acumulada de 0 a 100%.

Análisis estadístico de los datos

El arreglo de los datos para su análisis fue mediante un diseño experimental completamente al azar las concentraciones de cada extracto vegetal fueron consideradas como efectos fijos y los tiempos los cuales fueron tomados los datos para el modelo estadístico. Cuando en el análisis de varianza el valor de probabilidad fue menor a 0.05, la H0 fue rechazada y se realizó una comparación de medias con la prueba estadística Tukey ($P \leq 0.05$). (SAS,2006).



Resultados y Discusión

No hubo efecto de la interacción ($P > 0.05$) entre las fuentes de variación tratamiento, dosis y tiempo sobre la mortalidad de *R. indica* (cuadro 1). Esto indicó que la reducción de las poblaciones de *R. indica* solo depende de la dosis de extractos (concentración) por cada tiempo de evaluación. Por lo tanto, existió diferencia significativa ($P < 0.05$) entre los extractos (Cuadro 1). A 24 h, *Citrus Latifolia* T. en todas sus concentraciones 0.25, 0.50 y 1.00 mL/L obtuvo la menor efectividad en la mortalidad de *R. indica*, mientras que *Plectranthus amboinicus* presentó la mejor efectividad en 0.50 y 0.75 mL/L, pero en 1.00 mL/L *Lippia berlandieri* Schauer fue el más efectivo en la mortalidad de *R. indica*. A las 48 y 72 h, el extracto de *Citrus Latifolia* T. en todas sus concentraciones (0.25, 0.50, 0.75 y 1.00 mL/L) fue la menos efectiva y *Lippia berlandieri* Schauer tuvo la mejor efectividad en todas las concentraciones sobre la mortalidad de *R. indica*. También a las 72 h tanto *Azadirachta indica* (neem) como *Plectranthus amboinicus* fueron efectivas en la mortalidad.

Con *Lippia berlandieri* Schauer se han realizado estudios de su extracto y causó una mortalidad del 80 % en todos los estadios larvales, huevo y adulto del ácaro *Eotetranychus lewisi* (Mc Gregor) plaga del durazno (Quintos *et al.*, 2005). Estos datos difieren a lo obtenido en los bioensayos donde se obtuvo un 100% de mortalidad de *Raoiella indica* en la aplicación de este aceite a las 72 h. Otras especies de orégano del género *Lippia* se han evaluado en contra del ácaro (*Tetranychus urticae* Koch) obteniendo 96 % mortalidad de esta plaga en las mayores concentraciones (Cavalcanti *et al.*, 2010; Sivira *et al.*, 2011). Lin *et al.*

(2007) han descrito más de 20 flavonoides entre los que destacan el timol y el carvacrol como los dos compuestos principales del aceite esencial obtenido de orégano mexicano. El contenido total de timol y carvacrol de los aceites de orégano de las plantas más jóvenes es mayor (Lambert *et al.*, 2001; Dunford y Silva, 2005). Las diferentes especies de orégano han demostrado su actividad insecticida (Lamiri *et al.* 2001).

Existe pocos trabajos realizados en ácaros e insectos utilizando al extracto de *Ruta graveolens*. Sin embargo, Salasar *et al.* (2009) mencionaron que el extracto de ruda tiene un alto poder insecticida sobre el insecto *Tecia solanivora*. Por otra parte, Silva *et al.* (2011) reportaron a *R. graveolens* como controlador de *Bemisia tabaci* y *Frankliniella schulzei*. Existe poca información del efecto de ExV sobre *Raoiella indica*; sin embargo, el efecto de otros ExV sobre especies de ácaros plaga han sido reportados. En condiciones de laboratorio, se evaluó el efecto del extracto hidroetanólico de *Azadirachta indica* en dosis de 1, 5, 10, 15 y 20 %, sobre la mortalidad de araña roja (*Tetranychus urticae* Koch) obteniendo una mortalidad del 89.6 % en la dosis del 20% (Carrillo *et al.*, 2011), estos datos son parecidos con los obtenidos en este experimento al obtener 91 % de mortalidad a las 72 h (Figura 1), demostrando así que el extracto de neem tiene un gran efecto acaricida y que puede ser utilizado dentro de la rotación de acaricidas sintéticos para el control de ácaros plagas. Por otro lado, Encina *et al.* (2011) evaluaron dosis de 1, 5 y 10 g de *Azadirachta indica* en 100 mL de agua el cual observaron efecto de 95.77 % de la mortalidad a las 24 h sobre el ácaro *Tetranychus* a las 96 h de que el tratamiento fue aplicado. Estos



resultados concuerdan con los bioensayos realizados en este estudio ya que para el efecto de este extracto a las 24 h se observó mortalidad sobre *R. indica* (Cuadro 1).

González et al. (2016) mencionaron que el aceite de neem utilizado en aspersiones en campo causó una mortalidad del 85% del ácaro *Varroa destructor* (plaga en colmenas de abejas), y sin el uso de este aceite disminuyó la población de abejas, la cría operculada de obreras o las reservas de miel y polen. Se han reportado al menos 25 principios activos de neem con actividad biológica sobre artrópodos (Isea et al., 2013), de los cuales el mayor contenido que se presenta es la Azadiractina (Vega, 2014; Mahmood et al., 2017; Arias et al., 2009; Nava et al., 2012; Nollet y Singh 2017). Arias et al. (2009) mencionaron que la técnica de extracción con solventes tiene un mayor rendimiento de aceite y una alta concentración de azadiractina, esto debido a la afinidad que presentan los solventes lo que permite un fácil arrastre de estos aceites de las células vegetales que lo contienen. Este compuesto muestra acción antialimentaria, reguladora del crecimiento, e inhibidor de la oviposición en algunos insectos (Celis et al., 2008; Celis 2009; Nava et al., 2012; Singh 2010).

Por otra parte, Castillo et al. (2018) evaluaron en condiciones de laboratorio la efectividad del extracto etanólico de *Plectranthus amboinicus* sobre *Raoiella indica* obteniendo el 13% de mortalidad, y una repelencia del 61% con el uso de este extracto, lo que difiere de los datos obtenidos en esta investigación donde se obtuvo un 78% de mortalidad, además a este extracto como un insecticida sobre *Anopheles stephensi* le atribuyen al alto contenido de carvacrol y timol que existe en esta planta (Senthilkumar et al.,

2010). Diferentes especies de *Citrus* sp. se reportan como repelentes e insecticidas sobre algunos insectos. Da Camara (2015) mencionó que diferentes especies de *Citrus* son repelentes del ácaro *Tetranychus urticae*. Souza et al. (2016) reportaron al género *Citrus* con actividad insecticida sobre 69% de *Rhyzopertha dominica* en concentraciones de 40 ul/L de aire, estos mismos autores reportaron que los principales compuestos son limoneno y mirceno del género *Citrus* los que pueden provocar un efecto sobre este insecto.

Cuadro 1. Mortalidad acumulada de *R. indica* en el tiempo.

Hora/ExV	Concentración (mL/L)				
	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00
24 h					
<i>Citrus Latifolia</i> T.	0.00	1.00 _c	12.00 _c	34.00 _c	21.00 _e
<i>Azadirachta indica</i>	0.00	17.00 _{ab}	37.00 _b	31.00 _c	41.00 _d
<i>Plectranthus amboinicus</i>	0.00	23.00 _a	60.00 _a	74.00 _a	71.00 _b
<i>Ruta graveolens</i>	0.00	26.00 _a	48.00 _{ab}	59.00 _{ab}	57.00 _c
<i>Lippia berlandieri</i> Schauer	0.00	11.00 _{bc}	17.00 _c	56.00 _b	91.00 _a
EEM	0.00	2.71	4.52	3.78	3.35
48 h					
<i>Citrus Latifolia</i> T.	0.00	15.00 _c	24.00 _c	40.00 _d	31.00 _d
<i>Azadirachta indica</i>	0.00	31.00 _b	54.00 _b	59.00 _c	58.00 _c
<i>Plectranthus amboinicus</i>	0.00	37.00 _b	63.00 _{ab}	75.00 _b	77.00 _b
<i>Ruta graveolens</i>	0.00	34.00 _b	57.00 _{ab}	65.00 _{bc}	59.00 _c
<i>Lippia berlandieri</i> Schauer	0.00	49.00 _a	73.00 _a	93.00 _a	98.00 _a
EEM	0.00	2.63	4.27	2.57	2.21
72 h					
<i>Citrus Latifolia</i> T.	0.00	18.00 _c	26.00 _c	46.80 _d	43.00 _d
<i>Azadirachta indica</i>	0.00	39.00 _b	68.00 _b	80.00 _b	91.00 _b
<i>Plectranthus amboinicus</i>	0.00	43.00 _b	63.00 _b	78.00 _b	78.00 _b
<i>Ruta graveolens</i>	0.00	35.00 _b	59.00 _b	67.00 _c	59.00 _c
<i>Lippia berlandieri</i> Schauer	0.00	100.00 _a	100.00 _a	100.00 _a	100.00 _a
EEM	0.00	2.63	2.51	2.45	3.21

Cada valor representa la Media ± Error estándar. Medias con letras diferentes son estadísticamente diferentes a un nivel de probabilidad P <0.05 en columna.

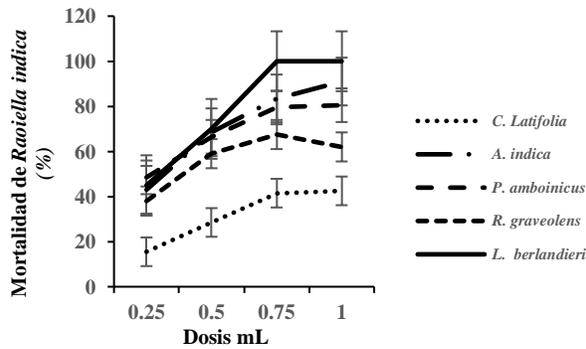


Figura 1. Mortalidad acumulada de los extractos sobre *R. indica* a las 72 h de aplicado el tratamiento.

Conclusiones

Los acaricidas que mostraron mayor porcentaje de mortalidad fueron *L. berlandieri* y *A. indica* con un 100 y 90 %, respectivamente. Estos pueden ser utilizados dentro de un manejo integrado de esta plaga y evitar la dependencia de los acaricidas sintéticos.

Agradecimientos

- Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Universidad Autónoma de Nuevo León-Facultad de Agronomía.
- Universidad Juárez Autónoma de Tabasco-División Académica de Ciencias Agropecuarias
- Programa de Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica (PAICYT-2018) Folio CT570-18.

Referencias Bibliográficas

Astudillo, C. y Andrade, L. 2011. *Insecticida natural a partir de extractos vegetales*. Concurso Semestral

Carrillo, D., y Peña, J.E. 2012. Prey-stage preferences and functional numerical responses of *Amblyseius*

largoensis (Acari: Phytoseiidae) to *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae). *Experimental and Applied Acarology*, 53; 134

Carrillo, D.; Navia, D.; Ferragut, F. y Peña, J.E. 2011b. First report of *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae) in Colombia. *Florida Entomologist* 94: 370-371.

Carrillo, J.C., y Hernandez, B. 2011. Efecto de extractos vegetales sobre la mortalidad de *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae), en laboratorio. *J. Interamer. Soc. Trop. Hort.* 53:154-157.

Castillo L.E.; Ruz, N.M.; Alvarado, A.R.; Canul, J.R.; López, E.; Campos-Navarrete, M.J. 2018. Ethanolic extracts of *Brosimum alicastrum* and *Plectranthus amboinicus* for the control of *Raoiella indica*. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 2018; 6(5): 625-628.

Cavalcanti, S.C.H., Niculau, E., Blank, A.F., Camara, C.A.G., Araújo, I.N. & Alves, P.B. 2010. Composition and acaricidal activity of *lippia sidoides* essential oil against two spotted spider mite (*Tetranychus urticae* Koch). *Bioresource Technology*, 101; 829-932.

Cavalcanti, S.C.H., Niculau, E., Blank, A.F., Camara, C.A.G., Araújo, I.N. & Alves, P.B. (2010). Composition and acaricidal activity of *lippia sidoides* essential oil against two.

Celis, A.; Cardona, J.; Cuca, L.; Delgado, W.; Mendoza, C. y Pachón, M. (2008). Extractos vegetales

COFEPRIS. (Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios). 2015. Búsqueda de registros de: plaguicidas y nutrientes vegetales. Secretaría de Salud. México, D.F. <http://189.254.115.250/Resolucion>



es/Consultas/ConWebRegPlaguicida.asp.

- Da Camara, C. A. G., Akhtar, Y., Isman, M. B., Seffrin, R. C., y Born, F. S. 2015. *Repellent activity of essential oils from two species of Citrus against Tetranychus urticae in the laboratory and greenhouse. Crop Protection, 74, 110–115.*
- Da Camara, C., Akhtar, Y., Murray, I., Seffrin, R. & Born, F. (2015). Repellent activity of essential oils from two species of Citrus against *Tetranychus urticae* in the laboratory and greenhouse. *Crop Protection* 74;(52), 110-115
- Encina, R.L., Ramírez, M.B. y Pino, C.D. Efecto de dos extractos acuosos de meliáceas sobre *Tetranychus* spp. (Acari: Tetranychidae) en condiciones de laboratorio. *Investig. Agrar.* 2011;13(2):95-100.
- Kane E., and Ochoa R. (2006). Detection and identification of the red palm mite *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae). *Systematic Entomology Laboratory, Beltsville MD.* 6 pp.
- Kane E., Ochoa R., Mathurin G., Erbe E.F. and Beard J.J. 2012. *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae): an exploding mite pest in the neotropics. *Experimental and Applied Acarology* 57: 215–225.
- Kane, E. & Ochoa. 2006. Detection and identification of the red palm mite *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae). *Systematic Entomology Laboratory, Beltsville MD.* 6 pp.
- Kane, E.C., R. Ochoa, G. Mathurin, E.F. Erbe & J.J. Beard. 2012. *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae): an exploding mite pest in the neotropics. *Experimental & Applied Acarology* 57: 215–225
- Leite, G. L. D., Barbosa, F. S., Alves, S. M., Nascimento, A. F., D'Ávila, V. D. A., & Costa, C. A. da. (2011). *Insecticide effects of Ruta graveolens, Copaifera langsdorffii and Chenopodium ambrosioides against pests and natural enemies in commercial tomato plantation. Acta Scientiarum. Agronomy, 33(1).*
- Maggi, M. (2004). *Insecticidas naturales.* Disponible en: <http://i-natura.blogspot.com/2012/12/insecticidacasero->
- Navia, E., García, C., Camacho, B., & Vázquez, M. (2012). Biopesticidas: An option for the biological pest control. *Ra Ximhai.* 8(3): 17-29
- Ochoa-Flores, A. A., Hernández-Becerra, J.A., López-Hernández, E., Campos-Ruiz, R. & de la Cruz-Sánchez, A. (2018). Contenido de azadiractina en el aceite extraído del germen de las semillas y de las hojas del árbol de neem (*Azadirachta indica* A. juss). En *Biotecnología en Ciencias Agropecuarias* (pp. 53 a 68). Tabasco, México: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Peña J.E., Rodríguez J.C., Roda A., Carrillo D., and Osborne L. (2012). Predator-prey dynamics and strategies for control of the red palm mite (*Raoiella indica*) (Acari: Tenuipalpidae) in areas of invasion in the Neotropics. *Integrated Control of Plant-Feeding Mites, IOBC/wprs Bulletin* 50:69-79
- Peña, J., C.M. Mannion, L. Osborne & F.W. Howard. 2006. Chemical control of red palm mite *Raoiella indica*, on ornamentals unpaginated. USDA. National Invasive Species Information Centre. EU.



- Peña, J.E., J. Bruin & W.M. Sabelis. 2012. Biology and control of the red palm mite, *Raoiella indica*: an introduction. *Experimental & Applied Acarology* 57: 211–213
- Pérez, D. y Iannacone, O. (2006). Efectividad de extractos botánicos de diez plantas sobre la mortalidad y repelencia de larvas de *Rhynchophorus palmarum* L., insectos plaga del *Pijuayo* *Bactris gasipaes* Kunth
- Roda, A., G. Nachman, F. Hosein, J.C.V. Rodrigues & J.E. Peña. 2012. Spatial distributions of the red palm mite, *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae) on coconut and their implications for development of efficient sampling plans. *Experimental and Applied Acarology* 57: 291–308.
- Rodríguez H., Montoya A. and Ramos M. (2007). *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae): una amenaza para Cuba). *Revista Protección vegetal* 22(3):142-153.
- Salazar G.1, 2 y Carlos Betancourth G. 2009. Evaluación de extractos de plantas para el manejo de polilla guatemalteca (*Tecia solanivora*) en cultivos de papa en Nariño, Colombia. *Agronomía colombiana*.
- Sánchez, E, P.; Osorio, R.; Hernandez, L, U.; Hernández, V.; Márquez, C. and De la Cruz, E. 2017. Toxicidad de acaricidas para el ácaro rojo de las palmas *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae). *Agrociencia* 51: 81-90.
- SAS Institute. (2006). SAS Software for Microsoft Windows versión 9.2. Cary, NC, USA.
- SENASICA. (2015). Campaña contra ácaro rojo de las palmas. Informe mensual No. 1, enero de 2013. Dirección General de Sanidad Vegetal del Servicio Nacional de Inocuidad y calidad alimentaria (SENASICA) de la SAGARP
- Senthilkumar, A., & Venkatesalu, V. (2010). *Chemical composition and larvicidal activity of the essential oil of Plectranthus amboinicus (Lour.) Spreng against Anopheles stephensi: a malarial vector mosquito. Parasitology Research, 107(5), 1275–1278.*
- Souza, v. n. d., Oliveira, c. r. f. d., matos, c. h. c., & almeida, d. k. f. d. (2016). *fumigation toxicity of essential oils against rhyzopertha dominica (f.) in stored maize grain. Revista Caatinga, 29(2), 435–440.*
- Flores-Galano, G., Montoya, A. & Rodríguez, H. 2010. Biología de *Raoiella indica* Hirsts (Acari: Tenuipalpidae) sobre *Areca catechu* L. *Rev. Protección Veg.* 25(1):11-16.



SEMESTRE VI

Introducción de la nueva variedad de sorgo dulce [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] ROGER en la producción de bioetanol

Iosvany López-Sandin, Francisco Zavala-García, Juanita Guadalupe-Gutiérrez Soto, Adriana Gutiérrez-Diez, Edgar Vladimir Gutiérrez-Castorena, Nancy del Pilar Medina-Herrera

Facultad de Agronomía, UANL. Av. Francisco Villa S/N, Col. Ex Hacienda el Canadá, tel. (81) 1340 4399. Email: iosvanyls@gmail.com

Resumen: Se realizó una serie de experimentos con el objetivo de evaluar la obtención de bioetanol de primera generación de la variedad de sorgo dulce ROGER bajo diferentes sistemas de producción del cultivo. Fueron evaluadas las etapas fenológicas entre la floración (Ef6) y la madurez fisiológica del cultivo (Ef9). Los sistemas de producción incluyeron diferentes métodos de labranzas y tipos de fertilizantes. Los resultados mostraron la máxima producción de azúcar (14.89 %) en Ef9. Mientras que, el mayor peso de jugo (119.48 g·tallo⁻¹) se obtuvo en la etapa de llenado del grano (Ef7). La mayor producción de biomasa seca se observó a partir Ef7 (18.65 t·ha⁻¹) y hasta Ef9 (19.01 t·ha⁻¹). El máximo valor de la relación costo energético- beneficio (337,239.68 MJ·ha⁻¹) fue con la labranza tradicional con subsuelo (L3) y con la fertilización orgánica (F1). Asimismo, el mayor rendimiento de bioetanol (2.12 m³·ha⁻¹) se obtuvo con la combinación de L3 y F1.

Palabras clave: cinética de fermentación, eficiencia energética, etapa fenológica, fertilizante, labranza

Abstract: A series of experiments was carried out with the objective of to evaluate the obtaining of first- generation bioethanol of the sweet sorghum variety ROGER under different production systems of the crop. The phenological stages between flowering (Ef6) and physiological maturity of the crop were evaluated (Ef9). Production systems included different tillage methods and types of fertilizers. The results showed the maximum sugar production (14.89 %) in Ef9. While, the highest weight of juice (119.48 g·stem⁻¹) was obtained in the grain filling stage (Ef7). The highest dry biomass production was observed from Ef7 (18.65 t·ha⁻¹) and up to Ef9 (19.01 t·ha⁻¹). The maximum value of the energy cost-benefit ratio (337,239.68 MJ·ha⁻¹) was with traditional tillage with subsoil (L3) and with organic fertilization (F1). Likewise, the highest bioethanol yield (2.12 m³·ha⁻¹) was obtained with the combination of L3 and F1.

Keywords: fermentation kinetics, energy efficiency, phenological stage, fertilizer, tillage

Introducción

Los biocombustibles ofrecen un sustituto para los combustibles fósiles, con las ventajas de mayor disponibilidad y respeto con el medio ambiente (Su *et al.*, 2015). Entre los diversos cultivos agrícolas que proporcionan materia prima para la

obtención de biocombustibles se encuentra el sorgo dulce [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], el cual es considerado una fuente viable que acumula altas cantidades de azúcar fermentable en el tallo, así como de oligoelementos esenciales para el crecimiento de la levadura (Cole *et al.*, 2017). Se destaca por un alto rendimiento



de biomasa y jugos en sus tallos con bajos requerimientos de insumos. Presenta una mejor relación de energía en comparación a la caña de azúcar, la remolacha azucarera, el maíz y el trigo. También, atenúa el conflicto entre alimentos y combustibles, generando biocombustible y co-productos de gran valor económico, conjuntamente de cubrir las necesidades de alimentos (Capecchi *et al.*, 2017).

En este sentido, se realizan estudios basados en los rasgos agronómicos y en las características del jugo de los tallos para la estimación y evaluación del bioetanol, con el propósito de desarrollar progenitores y variedades de polinización abierta que puedan ser utilizadas en la industria de los biocombustibles (Xuan *et al.*, 2015). El proceso de producción de bioetanol de primera generación del sorgo dulce está integrado por varias etapas (Figura 1), destacándose el establecimiento del cultivo, por lo que, es importante definir las condiciones óptimas de producción.

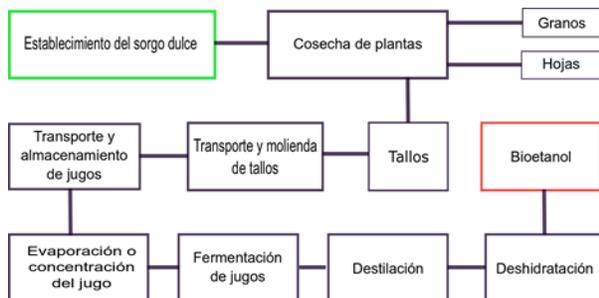


Figura 1. Diagrama del proceso convencional para la obtención de bioetanol de primera generación del sorgo dulce.

Conocer la etapa fenológica más oportuna para la cosecha y el método de producción más eficiente, podría ser una ruta para aumentar la productividad del cultivo y, consecuentemente, la producción de bioetanol (Capecchi *et al.*, 2017), además, de reducir los costos productivos y energéticos del proceso. Considerando lo antes mencionado, es necesario el estudio de nuevas variedades de sorgo dulce que

puedan tener potencial en la producción de bioetanol.

Hipótesis de la Investigación

Los diferentes sistemas de producción del cultivo de la variedad de sorgo dulce [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] ROGER influyen en la obtención de bioetanol de primera generación.

Objetivo general

Evaluar la obtención de bioetanol de primera generación de la variedad de sorgo dulce [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] ROGER bajo diferentes sistemas de producción del cultivo.

Objetivos específicos

1. Determinar el sistema de producción de la variedad de sorgo dulce con mayor relación costo energético - beneficio.
2. Definir la etapa fenológica óptima de la variedad de sorgo dulce en la obtención de bioetanol.
3. Seleccionar el sistema de producción con mayor rendimiento de bioetanol a partir de la cinética de fermentación.

Materiales y Métodos

Descripción del sitio de estudio

El experimento se estableció en el ciclo primavera-verano 2018, en el campo experimental de la Unidad Académica Marín de la Facultad de Agronomía perteneciente a la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL).

Material vegetal

La variedad de sorgo dulce utilizada en el estudio está registrada por la UANL en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales con el nombre de ROGER y número de registro SOG-261-050315, producto del programa de mejoramiento genético que se desarrolla en esta facultad.



Establecimiento del cultivo

Las actividades de preparación de suelos para el establecimiento del cultivo iniciaron el 20 de noviembre de 2017 con la labor de desbroce. Posteriormente, se realizaron las labores de rotura, subsuelo y rastra, según el método de labranza. La siembra se llevó a cabo el 5 de marzo de 2018. Fue realizado un aclareo manual 20 días posterior a la siembra hasta obtenerse una densidad promedio de 18 plantas·m². Para el riego del cultivo se utilizó un sistema por goteo superficial.

Diseño Experimental

Los tratamientos experimentales derivaron de diferentes métodos de labranza y tipos de fertilizantes. Fueron establecidos un diseño de bloques completos al azar con arreglos en parcelas divididas y tres repeticiones (Cuadro 1). La superficie por unidad experimental fue de 250 m². Los métodos de labranzas fueron asignados a la parcela grande con tres niveles: L1= labranza mínima (labores de desbroce y rastra; 0.20 m de profundidad), L2= labranza tradicional (labores de desbroce, arado y rastra; 0.30 m de profundidad), L3= labranza tradicional profunda (desbroce, subsuelo, arado y rastra; 0.75 m de profundidad).

Cuadro 1. Acomodo experimental y tratamientos establecidos en el estudio.

Repetición 1			Repetición 2			Repetición 3		
Tt	Parcela	Subparcela	Tt	Parcela	Subparcela	Tt	Parcela	Subparcela
T1		F1	T1		F1	T1		F1
T2	L1	F2	T2	L1	F2	T2	L1	F2
T3		F3	T3		F3	T3		F3
T4		F1	T4		F1	T4		F1
T5	L2	F2	T5	L2	F2	T5	L2	F2
T6		F3	T6		F3	T6		F3
T7		F1	T7		F1	T7		F1
T8	L3	F2	T8	L3	F2	T8	L3	F2
T9		F3	T9		F3	T9		F3

Tt= tratamiento; L1= labranza mínima; L2= labranza tradicional; L3= labranza tradicional con subsuelo; F1= fertilizante orgánico; F2= fertilizante inorgánico; F3= sin fertilizantes.

Los tratamientos de fertilización fueron asignados a la subparcela con tres niveles:

F1= fertilizante orgánico, F2= fertilizante inorgánico, F3= sin fertilizantes. La combinación de los métodos de labranza y de fertilización derivaron un total de nueve tratamientos.

Toma de datos

Para identificar la etapa fenológica (Ef) óptima para la cosecha se siguió la metodología descrita por Vanderlip (1993). Para lo cual fueron muestreadas 20 plantas con competencia completa por unidad experimental, 10 se utilizaron para determinar la distribución de azúcar por entrenudos (Etn) del tallo y las otras 10 para la medición de componentes relacionados con la producción de bioetanol. En el primer muestreo, el 50 % de las plantas por tratamiento se encontraban en alguna fase de la floración (Ef6). Para el segundo muestreo, la floración y la polinización estaban completas y comenzaba el llenado del grano (Ef7). En el tercer muestreo, los granos presentaban masa dura (Ef8). Para el cuarto muestreo, el cultivo se encontraba en el estado de madurez fisiológica (Ef9), la cual se identificaba con la presencia del punto negro en la región estilar del grano. En este último muestreo no fueron realizadas las mediciones por Etn.

Balance de energía

El consumo de energía se determinó con la metodología descrita por De las Cuevas *et al.* (2011) y Paneque y Sánchez (2006), basados en las propuestas de Bridges y Smith (1979) y apoyada por los antecedentes presentados por Stout (1990).

Producción de bioetanol

La concentración de EtOH del jugo fermentado (JEC) fue determinada por volumetría (v/v).

Análisis estadístico



Los datos obtenidos fueron procesados en el software estadístico IBM SPSS Statistics para Windows. La diferencia mínima significativa se determinó mediante un análisis de varianza (ANOVA, $p \leq 0.05$). Para la separación de medias y el análisis de correlación fue utilizada la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) y el coeficiente de Pearson ($p \leq 0.05$), respectivamente.

Resultados y Discusión

Método de producción

El análisis de varianza mostró únicamente diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para el factor labranza (L) y el factor fertilización (F). El Cuadro 2 muestra la comparación de medias de los parámetros agronómicos en los factores que resultaron significativos. L3 tuvo los mayores valores numéricos de AP (2.45 m), PTP (51.66 t·ha⁻¹), PT (42.70 t·ha⁻¹), PJ (21.89 t·ha⁻¹), PH (3.93 t·ha⁻¹), PSP (14.76 t·ha⁻¹), VJ (20,783.12 L·ha⁻¹) y °Brix (16.04 %), aunque para todas las variables con excepción de AP fueron estadísticamente ($p > 0.05$) iguales a L2. Para DF y PE, ningún tratamiento presentó diferencia significativa ($p > 0.05$).

Para el caso de la fertilización, F1 mostró los mayores ($p \leq 0.05$) valores de AP (2.39), PTP (50.77 t·ha⁻¹) PT (41.05 t·ha⁻¹), PJ (22.57 t·ha⁻¹), PH (3.86 t·ha⁻¹), PE (5.86 t·ha⁻¹) y VJ (22,529.59 L·ha⁻¹), estadísticamente iguales ($p > 0.05$) a F2, mientras que las variables DF, PSP y °B no presentaron diferencia significativa ($p > 0.05$) entre tratamiento de fertilización.

Para el caso de las diferencias entre tipos de labranza, la labranza profunda permite la ruptura de la capa de arado, disminuyendo la densidad aparente y la resistencia a la penetración, aumentando así, el grado de infiltración de agua, su almacenamiento en las capas profundas (Zhai *et al.*, 2017); también, permite un mayor desarrollo de raíces y disponibilidad de nutrientes (Tricai

et al., 2016) mejorando consecuentemente la capacidad fotosintética de la planta.

Cuadro 2. Comparación de medias para los parámetros agronómicos asociados con la producción de biomasa y azúcar en diferentes etapas fenológicas de la planta.

Tx	DF	AP (m)	(t·ha ⁻¹)							VJ (L·ha ⁻¹)	°B (%)
			PTP	PT	PJ	PH	PE	PSP			
L1	75.80*	2.28 ^a	43.35 ^a	34.81 ^b	17.95 ^b	3.17 ^b	5.37 ^a	10.27 ^b	17,285.83 ^b	14.01 ^a	
L2	73.33 ^a	2.38 ^b	48.44 ^a	39.34 ^a	20.69 ^{ab}	3.66 ^a	5.43 ^a	12.18 ^{ab}	19,534.96 ^{ab}	14.62 ^{ab}	
L3	73.00 ^a	2.45 ^a	51.66 ^a	42.70 ^a	21.89 ^a	3.93 ^a	5.03 ^a	14.76 ^a	20,783.12 ^a	16.04 ^a	
F1	72.78 ^a	2.39 ^a	50.77 ^a	41.05 ^a	22.57 ^a	3.86 ^a	5.86 ^a	13.53 ^a	22,529.59 ^a	15.01 ^a	
F2	73.56 ^a	2.38 ^{ab}	47.53 ^{ab}	38.54 ^{ab}	20.16 ^{ab}	3.59 ^{ab}	5.40 ^{ab}	12.67 ^a	18,722.60 ^a	15.29 ^a	
F3	75.89 ^a	2.33 ^b	45.14 ^a	37.26 ^b	17.80 ^b	3.32 ^b	4.57 ^b	11.01 ^a	16,351.71 ^b	14.37 ^a	

Tx= tratamiento; L= tratamiento de labranza; F= tratamiento de fertilización; DF= días para la floración; AP= altura de planta; PTP= peso fresco total de planta; PT= peso de tallo; PH= peso de hoja; PE= peso de espiga; PSP= peso seco de planta; VJ= volumen de jugo; °B= contenido de sólidos solubles en el jugo. *, Medias con una letra común en columna no son significativamente diferente (Tukey, $p > 0.05$).

Por otra parte, el sorgo dulce tiene una baja demanda de N, por lo que, puede tener un alto aprovechamiento durante la aplicación de diferentes fertilizantes (Thivierge *et al.*, 2015). Los resultados de PTP, PT, PSP, están en el rango de 35 a 52.12 t·ha⁻¹ reportado en otras variedades de sorgos dulces (Pothisoong y Jaisil, 2011); asimismo, mostraron similitud en PJ (16.43 a 28.10 t·ha⁻¹), VJ (13,546.6 a 22,976.9 L·ha⁻¹) y °B (11.26 % a 19.12) con lo reportado por Oyier *et al.* (2017).

Etapas fenológicas

El análisis de varianza mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para el factor etapa fenológica (Ef). La comparación de medias (Cuadro 3) mostró el mayor RBS a partir de la Ef7 (de 18.65 t·ha⁻¹ a 19.01 t·ha⁻¹), con valores que se encuentra en el rango reportado de 8.48 t·ha⁻¹ a 35.2 t·ha⁻¹ en otras variedades de sorgo dulce. El mayor aporte a RBS fue BS del tallo en la Ef9 con un valor de 60.04 %. La Ef9 tuvo los mayores valores de °B (14.89 %), CTA (22.91 g) y CCA (527.46 mg·g⁻¹ PS). En cuanto al PJ, el mayor valor (119.48 g·tallo⁻¹) se alcanzó en la Ef7. El PJ puede influir en la cantidad de



azúcar final del tallo (Mizuno *et al.*, 2016) o facilitar el proceso de extracción de azúcares del tallo.

Cuadro 3. Comparación de medias para los parámetros agronómicos asociados con la producción de biomasa y azúcar en diferentes etapas fenológicas de la planta.

F.V.	BS (%)			RBS (t ha ⁻¹)	°B (%)	PJ (g tallo ⁻¹)	CEJ (%)	CTA (g)	CCA (mg g ⁻¹ PS)
	Hoja	Tallo	Panoja						
Ef									
6	27.58 a*	45.38 c	14.98 b	16.20 b	9.57 b	108.80 b	42.21 b	15.99 b	313.87 c
7	22.44 b	52.67 b	24.89 a	18.65 a	9.93 b	119.48 a	44.95 a	16.77 b	402.35 b
8	24.24 ab	57.44 ab	30.38 a	18.95 a	10.05 b	107.81 b	42.84 b	14.44 c	332.97 c
9	15.16 c	60.04 a	24.83 a	19.01 a	14.89 a	104.19 b	44.72 a	22.91 a	527.46 a
Media	22.36	53.87	23.77	18.20	11.13	110.07	43.68	17.53	394.16
DMS _(0.05)	3.47	5.64	5.81	0.99	1.15	11.48	1.52	2.65	65.33

F.V.= fuente de variación; BS= biomasa seca; RBS= rendimiento de biomasa seca por hectárea; °B= grados brix; PJ= peso de jugo; CEJ= capacidad de extracción de jugo; CTA= contenido de azúcar; CCA= concentración de azúcar. *, Medias con una letra común en columna no son significativamente diferente (Tukey, p>0.05).

La distribución de azúcar entre los Etn del tallo mostró que la Ef6 tuvo los mayores valores de °B en los Etn del 1 al 4 (Figura 2a). A partir de Ef7, este comportamiento se observó en los Etn del 2 al 6 (Figura 2b) y una vez en Ef8, en los Etn 4 y 5 (Figura 2c). Indicando que en la medida que transcurrió el tiempo después de la floración, hubo una disminución gradual de °B en los Etn más próximos a la panoja (Etn 1, 2 y 3), contrario al resto de los Etn que fueron incrementando. Esto podría estar asociado con la demanda de carbohidratos por la panoja para el llenado del grano, aumentando la actividad fotosintética de las hojas cercana a ésta y, por consiguiente, se observa una mayor acumulación de °B en los Etn implicados (Bihmidine *et al.*, 2015). Esto resultados indican que la Ef influye en la producción de azúcar del tallo de sorgo dulce (Pabendon *et al.*, 2017). Además, de correlacionarse con factores morfológicos de la planta como son el número de Etn y hojas, altura de la planta, peso y tamaño de la panoja, área foliar, así como el tamaño de la demanda (depósito de azúcar en el tallo). Aunque también se relacionó con el periodo vegetativo y su capacidad de mantenerse verde durante la escasez de agua (Morey *et al.*, 2018).

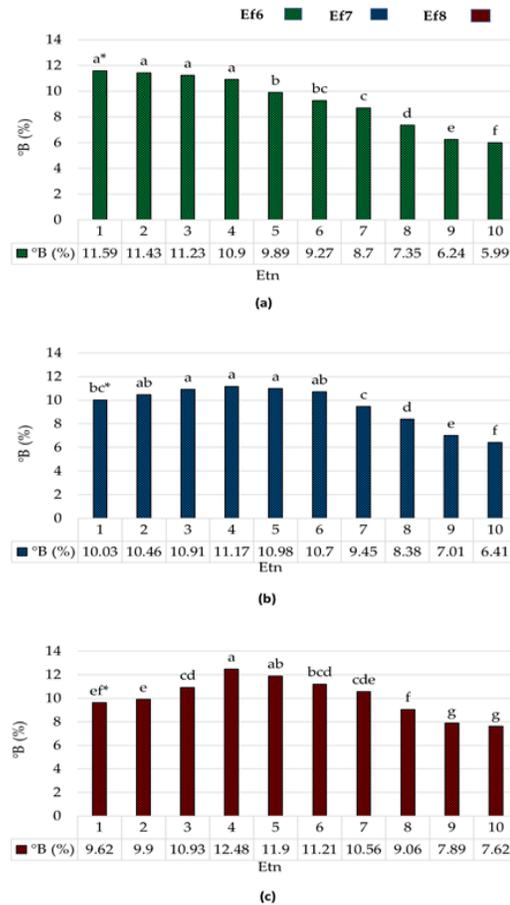


Figura 2. Evolución de los grados Brix (°B) por entrenudos (Etn) en las etapas fenológicas (Ef) de la planta. *, Medias con una letra común no son significativamente diferente (Tukey, p > 0.05).

Eficiencia energética

El balance energético consideró las entradas y salidas de energía durante el establecimiento y desarrollo del cultivo. Se observó diferencia significativa (p≤0.05) únicamente en el factor labranza (L) y el factor fertilización (F).

Los análisis mostraron (Cuadro 4) que L1 (21,694.87 MJ·ha⁻¹) y F3 (21,024.31 MJ·ha⁻¹), tuvieron la menor (p≤0.05) Ee por hectárea. En cambio, el máximo valor de Es fue para L3 (366,349.52 MJ·ha⁻¹) y F1 (371,806.87 MJ·ha⁻¹), siendo estadísticamente (p>0.05) iguales a L2 y F2, respectivamente. Este indicador dependió del rendimiento agronómico y del poder



calorífico del material vegetal. L1 (14.82) y F1 (15.34) tuvieron los mayores valores de EE y Pe, aunque estadísticamente ($p > 0.05$) fueron iguales a L2 y F3, respectivamente.

Cuadro 4. Índices de energía por tratamiento de labranza y fertilización.

Tx	Ee		Índice			
	MJ·ha ⁻¹	Es	EE	Pe(kg·MJ ⁻¹)	Ep (MJ·kg ⁻¹)	En (MJ·ha ⁻¹)
L1	21,694.87 ^c	321,525.07 ^b	14.82 ^a	2.05 ^a	7.42 ^a	299,830.20 ^b
L2	24,352.14 ^b	352,301.98 ^{ab}	14.47 ^a	2.09 ^a	7.27 ^{ab}	327,949.84 ^{ab}
L3	29,109.84 ^a	366,349.52 ^a	12.58 ^b	1.77 ^b	7.08 ^b	337,239.68 ^a
F1	24,238.40 ^b	371,806.87 ^a	15.34 ^a	2.14 ^a	7.33 ^a	347,568.46 ^b
F2	29,894.14 ^a	346,436.95 ^{ab}	11.59 ^b	1.60 ^b	7.30 ^a	316,542.81 ^{ab}
F3	21,024.31 ^c	321,932.76 ^b	15.31 ^a	2.16 ^a	7.13 ^a	300,908.45 ^b

Tx= tratamiento; L= tratamiento de labranza; F= tratamiento de fertilización; Tx= tratamiento; L= tratamiento de labranza; F= tratamiento de fertilización; Ee= energía de entrada; Es= energía de salida; EE= eficiencia energética; Pe= productividad energética; Ep= energía específica; En= energía neta; *, Medias con una letra común en columna no son significativamente diferente (Tukey, $p > 0.05$).

La máxima Ep se observó en L1 (7.42 MJ·kg⁻¹) y L2 (7.27 MJ·kg⁻¹), la fertilización no mostró diferencia significativa ($p > 0.05$). Por otro lado, los valores más altos de En se mostraron en L3 (337,239.68 MJ·ha⁻¹) y F1 (347,568.46 MJ·ha⁻¹), aunque estadísticamente igual a L2 y F2, respectivamente. Estos valores se encuentran en el rango reportado por Venturi y Venturi (2003) y supera el reporte de Ren et al. (2012). Lo que puede estar ligado con el eficiente manejo y a las condiciones de los sistemas de producción, principalmente al manejo efectivo de la maquinaria agrícola (Dyjakon, 2018). Además, se relacionan directamente con el rendimiento agronómico del cultivo y la inversión de energía en el proceso de producción. Esta última depende del número de operaciones agrícolas y del gasto de combustible diésel de cada una (Ding et al., 2017), y consecuentemente, de la profundidad de trabajo, la dimensión de los equipos, la velocidad de trabajo, de las condiciones y el tipo de suelo, principalmente del grado de compactación (Rondón y León, 2007).

Cinética de la producción de etanol

Durante el proceso de fermentación se observó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre tratamientos con relación a la producción de jugo. Una vez inoculados los jugos, el pH del medio se comportó en un rango de 4.2 a 4.7 (Figura 3), valores óptimos para el desarrollo de las levaduras. Lo que sugiere una ventaja en el proceso de escalamiento, sin la necesidad de suplementación de sales o extractos (Trivedi et al., 2015).

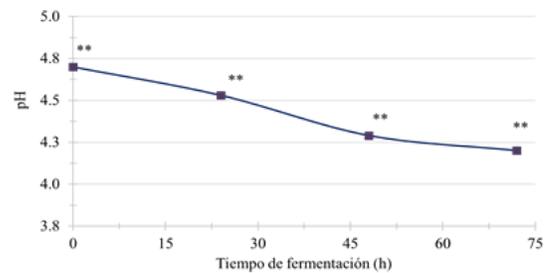


Figura 3. Comportamiento del pH del medio durante el proceso de fermentación. **, Indica diferencia significativa entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$).

En las primeras 48 h de fermentación el pH presentó una mayor disminución, seguida de una disminución gradual hasta las 72 h, comportamiento similar al mencionado por Laopaiboon et al. (2019). Lo cual puede asociarse (entre otros factores) al efecto del tratamiento de producción. La Figura 4 muestra el comportamiento de °B, AR, PB y CEJ durante la fermentación de los jugos obtenidos en la variedad ROGER.

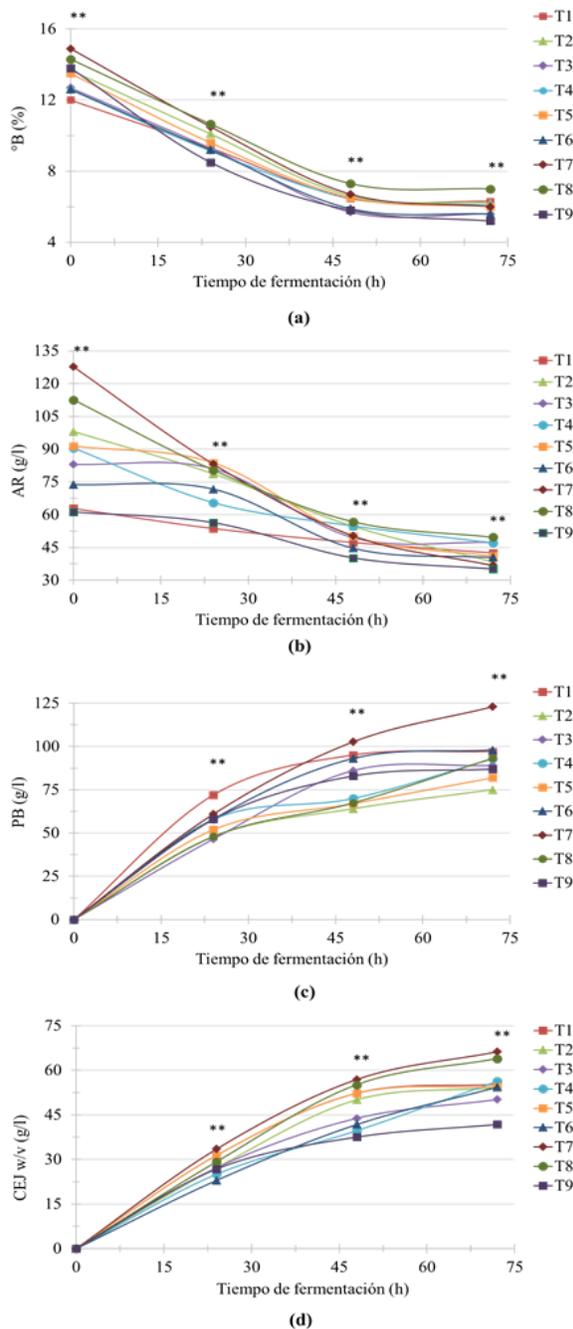


Figura 4. Perfil de fermentación del jugo. (a) $^{\circ}\text{B}$ = Brix, sólidos solubles totales; (b) AR= contenido de azúcares reductores; (c) PB= producción de biomasa; (d) CEJ = concentración de bioetanol del jugo w/v. **, Indica diferencia significativa entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$).

T7 mostró los mayores valores iniciales de $^{\circ}\text{B}$ y AR (Figura 3a y 3b). Éstos disminuyeron de 14.9 a 6 % y de 127.7 a 36.8 g·L⁻¹, respectivamente, a las 72 h. Fue observada una mayor disminución en las

primeras 48 h en un 55.03 y 60.53 %, respectivamente. El comportamiento anterior fue observado de manera general en todos los tratamientos. Convencionalmente el contenido y los tipos de azúcares fermentables del jugo han sido relacionado positivamente con los $^{\circ}\text{B}$ (Cole *et al.*, 2017). PB de la levadura presentó un crecimiento exponencial después de la inoculación del jugo de cada tratamiento (Figura 3c), sin pasar por la fase de adaptación (Lag), indicando alta actividad de la levadura (Phukoetphim *et al.*, 2019). Sugiriendo que los jugos no contenían ningún compuesto con niveles que inhibiera el desarrollo de la levadura (Bai *et al.*, 2008). Lo cual se reflejó en una mayor concentración de bioetanol (Figura 3d). T7 tuvo la mayor PB (113.1 g·L⁻¹) y consecuentemente, la mayor CEJ (66.31 g·L⁻¹). Por otro lado, en las primeras 48 h de fermentación se observó el mayor incremento en la producción de biomasa de la levadura (50.55 %) y en la concentración de EtOH (57.72 %), un comportamiento observado en la mayoría de los tratamientos. Después de las 48 h, inicia la fase estacionaria de crecimiento de la levadura (Kumar *et al.*, 2015). De manera general, el máximo rendimiento de bioetanol se obtuvo en T7 con 2.12 m³ha⁻¹ (Figura 5), superando el mayor valor reportado por Khalil *et al.* (2015) de 1.32 m³ha⁻¹.

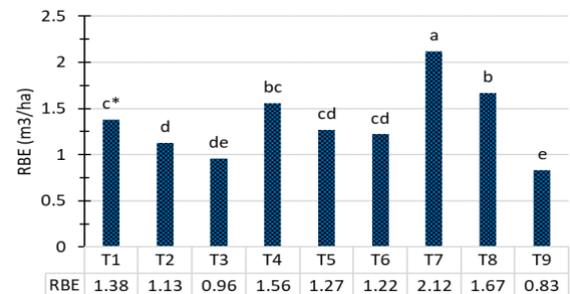


Figura 5. Rendimiento de bioetanol por hectárea (RBE). *, Medias con una letra común entre barras no son significativamente diferente (Tukey, $p > 0.05$).



Lo anterior sugiere que el rendimiento de EtOH puede estar asociado al origen del jugo (condiciones de producción) y al microorganismo utilizado en la fermentación, así como, a las propiedades químicas del jugo.

Conclusiones

Los resultados mostraron que la variedad de sorgo dulce ROGER tiene potencial en la producción de bioetanol de primera generación. El sistema de producción de mayor relación costo energético- beneficio (337,239.68 MJ·ha⁻¹) fue con la labranza tradicional que incluye la operación de subsuelo y con la aplicación del fertilizante orgánico. En la etapa fenológica nueve se obtuvo las mejores características agronómicas del jugo asociadas con la producción de bioetanol. Mientras que, el mayor rendimiento de bioetanol (2.12 m³ha⁻¹) se logró con el jugo obtenido del sistema de producción que incluyó la labranza tradicional con subsuelo y la fertilización orgánica.

Agradecimientos

Gracias al apoyo brindado por el CONACYT, a mi comité de tesis, a la Facultad de Agronomía y a la Facultad de Ciencias Biológicas, ambas de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Así como, a las personas que de una forma u otra contribuyeron durante este período de investigación.

Referencias Bibliográficas

- Bai, F. W., Anderson, W. A., & Moo-Young, M. (2008). Ethanol fermentation technologies from sugar and starch feedstocks. *Biotechnology advances*, 26(1), 89-105.
- Bihmidine, S., Baker, R. F., Hoffner, C., & Braun, D. M. (2015). Sucrose accumulation in sweet sorghum stems occurs by apoplasmic phloem unloading and does not involve differential sucrose transporter expression. *BMC plant biology*, 15(1), 186.
- Bridges, T. C., and Smith, E. M. (1979). A method for determining the total energy input for agricultural practices. *Transactions of the ASAE*, 22(4), 781-0784.
- Capecchi, L., Nissen, L., Modesto, M., Di Girolamo, G., Cavani, L., Barbanti, L. (2017). Crop factors influencing ethanol production from sorghum juice and bagasse. *Energies*, 10(7), 940.
- Cole, M. R., Eggleston, G., Petrie, E., Uchimiya, S. M., & Dalley, C. (2017). Cultivar and maturity effects on the quality attributes and ethanol potential of sweet sorghum. *Biomass and Bioenergy*, 96, 183-192.
- De las Cuevas, H. R., Rodríguez, T., Paneque, P., y Díaz, M. (2011). Costo energético del rodillo cuchillas CEMA para cobertura vegetal. Explotación y Procesos mecanizados. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 20(3), 53-56.
- Ding, N., Yang, Y., Cai, H., Liu, J., Ren, L., Yang, J., & Xie, G. H. (2017). Life cycle assessment of fuel ethanol produced from soluble sugar in sweet sorghum stalks in North China. *Journal of Cleaner Production*, 161, 335-344.
- Dyjakon, A. (2018). The influence of the use of windrowers in baler machinery on the energy balance during pruned biomass harvesting in the apple orchard. *Energies*, 11(11), 3236.
- Han, K. J., & Alison, M. (2020). Cover crop and tillage affect sweet sorghum production and soil chemical properties. *Agronomy Journal*, 112(1), 107-116.
- Khalil, S. R., Abdelhafez, A. A., & Amer, E. A. M. (2015). Evaluation of bioethanol



- production from juice and bagasse of some sweet sorghum varieties. *Annals of Agricultural Sciences*, 60(2), 317-324.
- Kumar, C. G., Rao, P. S., Gupta, S., Malapaka, J., & Kamal, A. (2015). Chemical Preservatives-Based Storage Studies and Ethanol Production from Juice of Sweet Sorghum Cultivar, ICSV 93046. *Sugar tech*, 17(4), 404-411.
- Laopaiboon, P., Khongsay, N., Phukoetphim, N., & Laopaiboon, L. (2019). Ethanol Production from Sweet Sorghum Juice Under Very High Gravity Fermentation by *Saccharomyces cerevisiae*: Aeration Strategy and Its Effect on Yeast Intracellular Composition. *Chiang Mai Journal of Science*, 46(3), 481-494.
- McKinley, B., Rooney, W., Wilkerson, C., & Mullet, J. (2016). Dynamics of biomass partitioning, stem gene expression, cell wall biosynthesis, and sucrose accumulation during development of *Sorghum bicolor*. *The Plant Journal*, 88(4), 662-680.
- Morey, S. R., Hashida, Y., Ohsugi, R., Yamagishi, J., & Aoki, N. (2018). Evaluation of performance of sorghum varieties grown in Tokyo for sugar accumulation and its correlation with vacuolar invertase genes *SbInV1* and *SbInV2*. *Plant Production Science*, 21(4), 328-338.
- Oyier, M. O., Owuoche, J. O., Oyoo, M. E., Cheruiyot, E., Mulianga, B., & Rono, J. (2017). Effect of harvesting stage on sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L.) genotypes in western Kenya. *The Scientific World Journal*, 2017.
- Pabendon, M. B., Efendi, R., Santoso, S. B., & Prastowo, B. (2017, May). Varieties of sweet sorghum Super-1 and Super-2 and its equipment for bioethanol in Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 65, No. 1, p. 012054). IOP Publishing.
- Paneque, P., Caballero A. M., Suárez, M., y Ferro N. A. (2009). Costos energéticos y de explotación del cultivo del arroz en fangueo directo. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 18(2), 7-11.
- Phukoetphim, N., Chan-u-tit, P., Laopaiboon, P., & Laopaiboon, L. (2019). Improvement of bioethanol production from sweet sorghum juice under very high gravity fermentation: Effect of nitrogen, osmoprotectant, and aeration. *Energies*, 12(19), 3620.
- Pothisoong, T., & Jaisil, P. (2011). Yield potential, heterosis and ethanol production in F1 hybrids of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *CURRENT APPLIED SCIENCE AND TECHNOLOGY*, 11(1), 17-24.
- Ren, L. T., Wei, T. Y., & Xie, G. H. (2012). Evaluation of energy input and output of sweet sorghum grown as a bioenergy crop on coastal saline-alkali land. *Energy*, 47(1), 166-173.
- Rondón, P. P., & León, D. S. (2007). Costo energético de las labores de preparación de suelo en Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 16(4), 17-21.
- Stout, B.A. Handbook of Energy for World Agriculture, 1st ed.; Texas A and M University: College Station, TX, USA, 1990; pp. 50–95, ISBN 1-85166-349-5.
- Su, Y., Zhang, P., and Su, Y. (2015). An overview of biofuels policies and industrialization in the major biofuel producing countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 50, 991-1003.
- Tricai, E., Furlani, C. E. A., Bertonha, R. S., Silva, V. F. A., Compagnon, A. M., & Cassia, M. T. (2016). Energy demand of furrow openers and corn yield according to the soil disturbance in no



- till system. *African Journal of Agricultural Research*, 11(17), 1538-1542.
- Thivierge, M. N., Chantigny, M. H., Bélanger, G., Seguin, P., Bertrand, A., and Vanasse, A. (2015). Response to nitrogen of sweet pearl millet and sweet sorghum grown for ethanol in eastern Canada. *Bioenergy research*, 8(2), 807-820.
- Vanderlip, R.L. 1993. How a sorghum plant develop. Contribution No. 1203. Kansas Agricultural Experiment Station, Manhattan, KS, USA.
- Venturi, P., & Venturi, G. (2003). Analysis of energy comparison for crops in European agricultural systems. *Biomass and Bioenergy*, 25(3), 235-255.
- Xuan, T. D., Phuong, N. T., Khang, D. T., & Khanh, T. D. (2015). Influence of sowing times, densities, and soils to biomass and ethanol yield of sweet sorghum. *Sustainability*, 7(9), 11657-11678.
- Zhai, Z., Li, Y. Y., Zhang, L., Pang, B., Pang, H. C., Wei, B. H., ... & Qi, S. W. (2017). Effects of short-term deep vertically rotary tillage on topsoil structure of lime concretion black soil and wheat growth in Huang-Huai-Hai Plain, China. *Ying yong sheng tai xue bao= The journal of applied ecology*, 28(4), 1211-1218.
- Zhang, F., Wang, Y., Yu, H., Zhu, K., Zhang, Z., & Zou, F. L. J. (2016). Effect of excessive soil moisture stress on sweet sorghum: physiological changes and productivity. *Pak J Bot*, 48(1), 1-9.



Propiedades nutraceuticas de la semilla de seis genotipos de Girasol (*Helianthus annuus* L.) en dos ciclos de cultivo en Marín, N.L.

Kirenia Raquel Rodríguez-Valle¹; José Elías Treviño-Ramírez¹; Francisco Zavala-García¹; Emilio Olivares-Sáenz¹; Rigoberto E. Vázquez-Alvarado¹; Guillermo Niño-Medina¹; Lidia Rosaura Salas-Cruz¹; Gilberto Rodríguez-Pérez².

¹Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía, Francisco Villa s/n, cambiar al Colonia Ex- Hacienda El Canadá, 66054 Gral. Escobedo, Nuevo León, México.

²Estación Experimental del Instituto Tecnológico de Roque, Roque, Celaya, Guanajuato, Méx. Carretera Celaya-Juventino Rosas Km.8, 38110 Celaya Guanajuato.

Correo electrónico:kirenia.rodriguezvl@uanl.edu.mx

Resumen: El girasol (*Helianthus annuus*. L), es uno de los tres principales cultivos oleaginosos producidos en el mundo. Contiene en la semilla y el brote antioxidantes aportando grandes beneficios, como antiinflamatorios, antimicrobianos, antihipertensivos, cardiovasculares y curativos; encontrándose en sus compuestos, fenoles, flavonoides, ácidos grasos polinsaturados y vitaminas. El diseño experimental fue completamente al azar con seis tratamientos y cuatro repeticiones, los análisis realizados fueron, extractos fenólicos, flavonoides, taninos condensados, capacidad antioxidante DPPH, ABTS, FRAP. La mayor cantidad de fenoles Totales la encontramos en muestras obtenidas de la variedad Cobalto II 45350 mg EC/Kg⁻¹, y el menor valor con Daytona con 31225 mg EC/Kg⁻¹. La actividad antioxidante FRAP, mostró un nivel más alto que el híbrido Cobalto II con 23407.5 µmol ET/Kg⁻¹, el más bajo la variedad Rhino con 8407.5 µmol ET/Kg⁻¹ para el ciclo tardío 2018. En el ciclo temprano 2019, obteniendo mayores valores en las muestras de la variedad Jaguar con 831900 µmol ET/Kg⁻¹.

Palabras claves: oleaginosos, extractos fenólicos, flavonoides, Taninos condensados, DPPH.

Abstract: Sunflower (*Helianthus annuus*. L) is one of the three main oil crops produced in the world. It contains antioxidants in the seed and sprout providing great benefits, such as anti-inflammatory, antimicrobial, antihypertensive, cardiovascular and curative; being in its compounds, phenols, flavonoids, polyunsaturated fatty acids and vitamins. The experimental design was completely randomized with six treatments and four repetitions, the analyzes carried out were phenolic extracts, flavonoids, condensed tannins, DPPH, ABTS, FRAP antioxidant capacity. The greatest amount of Total phenols is found in samples obtained from the Cobalt II variety 45350 mg EC / Kg⁻¹, and the lowest value, with Daytona with 31225 mg EC / Kg⁻¹. The antioxidant activity FRAP, showed a higher level than the Cobalt II hybrid with 23407.5 µmol ET / Kg⁻¹, the lowest the Rhino variety with 8407.5 µmol ET / Kg⁻¹ for the late cycle 2018. In the early cycle 2019, obtaining higher values in the samples of the Jaguar variety with 831900 µmol ET / Kg⁻¹.

Keywords: oilseeds, phenolic extracts, flavonoids, condensed Tannis, DPPH.

Introducción

El girasol (*Helianthus annuus*. L), es uno de los tres principales cultivos oleaginosos

producidos en el mundo, superado sólo por la soya y la canola (Gómez *et al.*, 2011; Espinoza, 1990). Es una especie de múltiples propósitos para la alimentación



humana y animal para producción de aceite y como abono verde atribuyéndole en gran importancia económica (Davey y Lan, 2010). Esta oleaginosa presenta características muy singulares en su inflorescencia de girar en la misma trayectoria del sol. Sus orígenes son en el centro Sur de los Estados Unidos, Arizona y Nuevo México.

Según el último informe del Departamento de Agricultura de Estados Unidos la producción mundial de girasol caerá un 1% hasta alcanzar 50.95 millones de toneladas, 0.52 millones menos que la campaña anterior. Las exportaciones aumentarán 5% y los productos en almacén se reducirán en un 19.9%. La relación almacenamiento/consumo del girasol pasarán del 6.9 al 5.4%. Según USDA incrementó sus estimaciones mensuales en 2.3 M Tn. Para Ucrania y Rusia el aumento fue de 1 y 1.5 M Tn, En Argentina se ajustaron a la baja las estimaciones de producción de grano en 200,000Tn, a unas 3.3 M Tn (13.7% i.a) (USDA, 2019). Finalizó la siembra a nivel nacional en EUA con 1.6 M Ha, con una caída interanual de 15.8%. (USDA, 2019).

Se espera que el consumo y producción nacional para el 2030 se verá en aumento, en el consumo nacional donde será de 60.09 a 70.20 Mt y la producción se incrementará de 8.96 a 10.72Mt, lo cual representa un crecimiento acumulado de 18.61 y 16.81% respectivamente (SAGARPA, 2017). Las alternativas de abastecimiento en México conservan como prioridad nacional diversificar alternativas de proveeduría en Argentina, Estados Unidos y España para el 2030. El cultivo de girasol representa una alternativa de siembra viable para el noroeste del país por sus características que lo hacen tolerante a bajas temperaturas, la utilización de menos agua y su alta demanda en la industria nacional, señalan especialistas del Instituto Nacional de Investigación Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), rendimiento de 1.4 T/ha (SIAP, 2017).

En el caso del girasol la flor es utilizada como forraje o de manera ornamental, de las semillas se extrae el aceite y la harina, por su gran cantidad de grasas polinsaturadas son benéficas, su semilla se utiliza para jabones, cosméticos y detergentes, en algunos países, como combustible. (Luévanos *et al.*, 2010).

Esta gran semilla se utiliza en la etnomedicina para controlar varias enfermedades pulmonares, bronquiales, tos, resfriado, cardiacas etc., dándole un uso creciente en el mundo por su popularidad a través de su historia. Bashir T, *et. al.* (2015; SIAP, 2017). Contiene en la semilla y el brote antioxidantes aportando grandes beneficios, como antiinflamatorios, antimicrobianos, antihipertensivos, cardiovasculares y curativos estos se encuentran en sus compuestos fenólicos, flavonoides, ácidos grasos polinsaturados y vitaminas (Fowler MW 2006).

El grano de girasol contiene: entre 280 y 470 g de grasa, 170 a 270 g de proteína cruda y 350 a 360 g de fibra, por kilogramo de semilla. Después de la extracción del aceite de la semilla queda la pasta, la cual contiene: de 260 a 500 de proteína cruda/kg de 120 a 350 g de fibra cruda/kg y de 10 a 90 g de grasa cruda/kg. La pasta de girasol también es rica en vitaminas del complejo B y caroteno o provitamina A (Gómez *et al.*, 2011). Un kilogramo de ensilaje del girasol contiene: de 111 y 125 g de proteína cruda, de 71 y 107 g de grasa cruda, de 310 y 335 g de fibra cruda y de 390 y 420 g de fibra. Su contenido de grasa es tres veces más que el del ensilaje de maíz; además presenta un contenido más alto de fibra, un poco más de proteína y contenido de energía. Cuando el girasol no cuenta con el tiempo suficiente para la maduración de sus semillas, o cuando sufre daños considerables o pérdidas debido a insectos, enfermedades, sequía o heladas, el cultivo puede ser cosechado como ensilaje y ser utilizado en la dieta de vacas lecheras (Gómez *et al.*, 2011).



Es un cultivo con bajos requerimientos de labores, de fácil mecanización y con una relativa tolerancia al estrés hídrico (SIAP, 2018). En México se han reportado 49 especies de girasol, de las cuales 12 son anuales y 37 perennes, estas especies tiene la característica para adaptarse fácilmente a diferentes ambientes, cultivados actualmente en todo el mundo (SNITT, 2018).

En el Municipio de Marín perteneciente al Estado de Nuevo León, no se ha reportado trabajos con genotipos de Girasol de alto potencial de rendimiento, que nos indique cuáles son los que sean resistentes a la sequía y al clima variable que existe en la zona (Dardanielli, 2003) para obtener nuevas alternativas productivas a nivel regional y poder realizar esta investigación, se plantea la evaluación de seis genotipos de girasol de los cuales: tres genotipos son híbridos de alta eficiencia en la producción de semilla para extracción de aceites y tres genotipos son variedades de polinización libre y de alta calidad para la producción de semilla para consumo humano (Confitería o Botoneras), el área experimental del Campo Agrícola en Marín, N. L. de la FAUANL, en los ciclos de cultivo: Tardío 2018 (agosto -diciembre 2018) y temprano, 2019 (febrero -julio/2019).

Al evaluar los genotipos de girasol se analizó la influencia del ambiente en el rendimiento de grano, la calidad nutricional (Trapani N. *et. al.*, 2003 y Villalobos *et.al.*, 1994).

Hipótesis general

El ambiente, el genotipo y su interacción tienen un efecto directo en la producción del cultivo de girasol, principalmente en el rendimiento, la calidad nutricional de su semilla y otras variables agronómicas.

Objetivo general

Evaluar la influencia del ambiente en la variabilidad del valor nutrimental de la semilla de 6 genotipos de girasol (*Helianthus annuus* L.) en los dos ciclos del cultivo, ciclo tardío

(agosto-diciembre/2018) y ciclo temprano febrero-julio/ 2019).

Objetivos particular

1. Evaluar las propiedades nutraceuticas del grano en cada uno de los genotipos bajo estudio, en dos ciclos de cultivo, ciclo tardío (agosto-diciembre/2018) y ciclo temprano (febrero-julio/ 2019).

Materiales y Métodos

Ubicación de las parcelas experimentales

El estudio se realizó en el Campus experimental de la Facultad de Agronomía UANL, localizado en el Municipio de Marín, Nuevo León, el cual se encuentra al Noreste del Estado a una latitud Norte de 25° 52' y de una longitud oeste de 100° 02', a una altura de 393 msnm.

Material vegetal

Posteriormente se seleccionaron 50 semillas por unidad experimental las muestras seleccionadas fueron trasladadas al laboratorio de biotecnología de la Universidad autónoma de Nuevo León del Campus de Ciencias Agropecuarias.

Extractos fenólicos

La extracción de los compuestos fenólicos libres se realizó pesando 200 mg de grano molido de semillas de girasol en un tubo de tornillo, se homogenizaron con 3 ml de metanol al 80% (purgados 30 seg con N₂), posteriormente se cubrió con papel aluminio y se agitaron durante 1h a 200 rpm, seguido se pasaron a un tubo falcón, se centrifugaron a 15 °C por 5 min a 4500 rpm y se recuperó el sobrenadante. Las muestras se colocaron en tubos eppendorf envueltos con papel aluminio y se guardaron a 5 °C hasta su uso para posteriormente realizar el análisis de capacidad. Se realizaron cuatro repeticiones



de cada ensayo por genotipos para cada uno de los experimentos realizados.

Fenoles Totales

El contenido de fenoles totales, se determinó utilizando el método colorimétrico informado por Chun y Kim (2004), basado en la reacción del reactivo de Folin-Ciocalteu. Se colocaron 0.40 μL del extracto fenólico más 160 μL de agua destilada (200 μL muestra), 2600 ml de H_2O destilada, 200 ml de folin y se oxidaron con 2000 ml de NaCO_3 . (Se pesó 7 gr de solución de NaCO_3), se diluyó en 100 ml de agua destilada. Se agitó y se dejó reposar los estándares durante una hora y media, finalmente se evaluó la absorbancia de las muestras a 750 nm. Se pesó 0.005 gr de Ac. Gálico en un matraz volumétrico de 25 ml y se aforó con metanol al 80%, se usó como estándar. (0 a 200 mg L^{-1}). Los resultados fueron expresados como miligramos equivalentes de ácido gálico por kilogramos (mg EAG/ kg^{-1}).

Flavonoides totales

El contenido de flavonoides totales se evaluó de acuerdo con Ivanova *et al.*, (2011). Basándose en la reacción del cloruro de aluminio, agua, seguido de 0.5 gr de NaNO_2 en 10 ml de H_2O destilada, después de 5 minutos se agregó 1 g de AlCl_3 en un matraz en 10 ml de agua y, finalmente, 5 minutos más tarde, se añadió 1.0 ml de NaOH , la reacción se dejó durante 15 minutos y finalmente se midió la absorbancia de las muestras a 510 nm. Se pesó 0.0050 mg de catequina en 25 ml de metanol al 80%, se utilizó estándar (0 a 200 mg L^{-1}). Los resultados fueron expresados como miligramos equivalentes de ácido gálico por kilogramo (mg EAG/ kg^{-1}).

Contenido de taninos condensados

El contenido de taninos condensado se determinó según lo descrito por Sun *et al.*

(1988), basado en la reacción de la vainillina H_2SO_4 . En resumen, de mezclaron 0.25 gr de vainillina y se aforaron en un matraz de 25 ml con H_2O destilada, 0.40 μL del extracto fenólico más 160 μL de agua destilada (200 μL muestra (ambos disueltos en metanol al 100%). La reacción se dejó durante 15 min a 30 $^\circ\text{C}$ y finalmente se midió la absorbancia de las muestras a 500 nm. Se utilizó estándar (0 a 200 mg L^{-1}) y los resultados obtenidos se expresaron como miligramos de equivalentes de catequina por gramo de la muestra por kilogramos (mg CE/ kg^{-1}).

Capacidad antioxidante

DPPH

DPPH (2,2 difenil -1-picrilhidrazilo): Se evaluó utilizando una solución de trabajo de 0.50 μL del extracto fenólico más 160 μL de agua destilada (200 μL muestra), 1.5 ml del reactivo ABTS, 1.5 de metanol al 80 %, con una absorbancia ajustada a 0.999, se dejó reaccionar durante 30 minutos en la oscuridad y se midió a 517nm.

ABTS

Se llevó a cabo el ABTS (ácido 3-etil-benzociazolina-6-sulfónico). El reactivo ABTS se preparó 12 h antes de su uso y después del tiempo transcurrido se diluyó con metanol al 80%, el ensayo ABTS, fue realizado mezclando 0.50 μL del extracto fenólico más 160 μL de agua destilada (200 μL muestra), 1.5 ml del reactivo ABTS, 1.5 de metanol al 80 %, con una absorbancia ajustada a 1.00 de ABTS se dejó reaccionar durante 12 h en la oscuridad y se midió la reducción de ABTS a 734 nm.

FRAP

FRAP (poder reductor de antioxidantes férrico): Se determinó utilizando una solución de trabajo preparada mezclando 300 mM $\text{C}_2\text{H}_3\text{NaO}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (pH 3.6), 10 nM TPTZ (2,4,6 tripiridils triazina, en HCL 40 Mm) y 20 mM $\text{FeCl}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ en proporción 10: 1 en el ensayo



FRAP. Se preparó mezclando mezclando 0.50 μL del extracto fenólico más 160 μL de agua destilada (200 μL muestra), con 1.5 ml de solución de trabajo FRAP, se dejó la reacción durante 30 minutos en la oscuridad a 37°C y se tomó la absorbancia de las muestras a 593 nm.

Los ensayos de capacidad antioxidante se realizaron de acuerdo con Thaipong *et al.*, (2006) con modificaciones, se utilizó trolox como estándar (100 a 500 $\mu\text{mol L}^{-1}$). y los resultados se expresaron como micromoles de equivalentes de trolox por kilogramo de muestra ($\mu\text{mol ET/Kg}^{-1}$) utilizando una ecuación lineal.

Análisis estadístico

Con los valores obtenidos en las pruebas de laboratorio, para obtener el valor nutracéutico de la semilla de girasol se procedió hacer el análisis estadístico para cada variable estudiada (el contenido de compuestos fenólicos, flavonoides, taninos condensados y resto de componentes para estudiar la capacidad antioxidante de las semillas) por ciclo de cultivo, se usó el diseño experimental que fue completamente al azar, con seis tratamientos y cuatro repeticiones, al encontrar diferencia significativa en los análisis de varianza, se procedió a realizar la comparación de medias por el método de Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

Resultados y Discusión

Resultados de las variables obtenidas en el valor nutrimental de la semilla en los dos ciclos del cultivo. Ciclo tardío (agosto-diciembre/2018) y ciclo temprano (febrero-julio 2019).

El cuadro 1 muestra los Fenoles totales y el contenido total de flavonoides en la semilla de los seis genotipos de girasol en dos ciclos del cultivo (tardío 2018 y temprano 2019), en el caso de los fenoles totales, existió diferencia significativa entre las muestras comparadas

al obtener los mayores valores en las muestras obtenidas de la variedad Cobalto II y Rhino con 45350 y 43010.71mg EAG/Kg⁻¹ respectivamente.

Para el contenido total de flavonoides no existió diferencia significativa en los dos ciclos del cultivo (tardío 2018 y temprano 2019).

Cuadro 1. Fenoles totales y contenido total de flavonoides en la semilla de los seis genotipos de girasol en dos ciclos del cultivo (tardío 2018 y temprano 2019).

GENOTI POS	Fenoles totales (mg EAG/Kg ⁻¹)		Contenido total de Flavonoides (mg EC/Kg ⁻¹)	
	Tardío	Temprano	Tardío	Temprano
Daytona	31225 b	38903.57 a	8737.5 a	18162.5 a
Cobalto II	45350 a	43028.57a	9675 a	16475 a
Hornet	33992.85 b	37778.57a	8862.5 a	14756.25 a
Jaguar	32439.28 b	39403.57a	8268.75 a	16193.75 a
Rhino	43314.28 a	42260.71a	9721.87 a	19287.5 a
Criollo	43010.71 a	38457.14 a	8878.12 a	16943.75 a

Valores con la misma letra dentro de las columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

Giada y Mancini-Filho, 2009, evaluaron la capacidad antioxidante de los extractos de cotiledones de semilla de girasol rayados, obtenidos por extracción secuencial con diferentes polaridades de solventes, mediante tres métodos in vitro donde el poder antioxidante FRAP, mostró un mayor valor de capacidad antioxidante FRAP, 45.27 μmol que el extracto etanólico FRAP, 32.17 μmol , la alta capacidad antioxidante observada para el extracto acuoso de la semilla de girasol estudiada sugiere que la ingesta de esta semilla puede prevenir reacciones oxidativas



in vivo responsables del desarrollo de varias enfermedades, como el cáncer.

Al realizar el ensayo de los taninos condensado en las muestras seleccionadas tomaron un color transparente, cuando debían de haber tomado un color rosa, al leerlas en el espectrofotómetro no tenía taninos visibles obteniendo cero como resultado.

Para los resultados de ensayo de la actividad antioxidante en las semillas de los seis genotipos de girasol en dos ciclos del cultivo (tardío 2018 y temprano 2019), que se muestran en el Cuadro 2, no se encontraron diferencias significativas para las muestras observadas de DPPH y ABTS, esto pudo haber sido algún error de lectura o extracción de los compuestos fenólicos y por consecuencia los resultados obtenidos muestran una varianza muy amplia que impide observar diferencias significativas.

Los resultados en la actividad antioxidante FRAP, obtuvo diferencias significativas entre las muestras de los seis genotipos en estudio, mostrando un nivel más alto el híbrido Cobalto II con 23407.5 $\mu\text{mol ET/Kg}^{-1}$ y el más bajo la variedad Rhino con 8407.5 $\mu\text{mol ET/Kg}^{-1}$ para el ciclo tardío 2018. En el ciclo temprano 2019, se obtuvo mayores valores de la variedad Jaguar con 831900 $\mu\text{mol ET/Kg}^{-1}$ y un menor valor en el genotipo Daytona con 504650 $\mu\text{mol ET/Kg}^{-1}$ respectivamente.

Szydłowska - Trokowski, (2010), obtuvieron menores valores en las capacidades antioxidantes utilizando el promedio de los extractos de cáscaras de girasol sin tratamiento enzimático 368.1–1574.4 $\mu\text{mol TE} / 100 \text{ g}$ fueron mayores que las de las cáscaras tratadas con enzimas celulolíticas y pectolíticas 222.7–1419.0 y 270.7–1570.7 $\mu\text{mol TE} / 100 \text{ g}$, respectivamente. Se observó una correlación significativa entre el contenido fenólico total y la capacidad antioxidante de los extractos estudiados de cáscaras de girasol ($r = 0.9275$). La capacidad antioxidante y el contenido fenólico total dependen en gran medida de las

condiciones de extracción (polaridad del disolvente, temperatura y el tiempo).

Cuadro 2. Actividad antioxidante en las semillas de los seis genotipos de girasol en dos ciclos del cultivo (tardío 2018 y temprano 2019).

GENO TIPOS	Actividad antioxidante					
	DPPH ($\mu\text{mol ET/Kg}^{-1}$)		ABTS ($\mu\text{mol ET/Kg}^{-1}$)		FRAP ($\mu\text{mol ET/Kg}^{-1}$)	
	Tardío	Temprano	Tardío	Temprano	Tardío	Temprano
Daytona	25870 a	1506 a	24280 a	22330 a	12045 b	504650 b
Cobalto II	30270 a	1308.5 a	28630 a	23780 a	23407.5 a	585650 b
Hornet	24770 a	1548.5 a	22105 a	21280 a	15895 ab	614150 b
Jaguar	26670 a	1806 a	23730 a	24355 a	10132.5 b	831900 a
Rhino	24570 a	2056 a	43430.19 a	23155 a	8407.5 b	625900 b
Criollo	26170 a	1803.5 a	42180.18 a	22705 a	11020 b	598150 b

Valores con la misma letra dentro de las columnas, son estadísticamente iguales con base a la prueba de Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

Conclusiones

La mayor cantidad de Fenoles totales la encontramos en las muestras obtenidas de la variedad Cobalto II 45350 mg EC/Kg⁻¹, y el menor valor Daytona con 31225 mg EC/Kg⁻¹. La actividad antioxidante FRAP, mostró un nivel más alto el híbrido Cobalto II con 23407.5 $\mu\text{mol ET/Kg}^{-1}$ y el más bajo la variedad Rhino con 8407.5 $\mu\text{mol ET/Kg}^{-1}$ para el ciclo tardío 2018. En el ciclo temprano 2019, se lograron obtener mayores valores en las muestras de la variedad Jaguar con 831900 $\mu\text{mol ET/Kg}^{-1}$ y un menor valor en el genotipo Daytona con 504650 $\mu\text{mol ET/Kg}^{-1}$ respectivamente.



Agradecimientos

A la Subdirección de Posgrado e Investigación de la Facultad de Agronomía perteneciente a la Universidad Autónoma de Nuevo León, por su aceptación para cursar el Doctorado en Ciencias Agrícolas, al Gobierno de México, al CONACYT por el apoyo financiero y poder lograr mi objetivo como profesional e investigador logrando obtener resultados de investigación económicamente viable y ecológicamente factible. A la Empresa ANZU GENÉTICA SEEDS, en particular al Lic. José Alberto Anzaldúa Zúñiga y también al Ing. Miguel Ángel Sánchez García por proporcionar las semillas certificadas para poder realizar la presente investigación.

Referencias Bibliográficas

Bashir T, Mashwani ZR, Zahara K, Haider S, Mudrikah TS. (2015). Chemistry, pharmacology and ethnomedicinal uses of *Helianthus annuus* (sunflower): a review. *Pure Appl Biol* 4(2):226–235 4.

Chun, K. O. and Kim, D.O. (2004). Consideration on equivalent chemicals in total phenolic assay of chlorogenic acid-rich plums. *Food Research International* 37: 337-342.

Dardanielli, J.L.; O.A. Collino; M.E.Otegui y V.O.Sadras, 2003. Bases funcionales para el manejo de agua en los sistemas de producción de los cultivos de grano. Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires. 204 -241.

Davey, M.R., and M.Jan. (2010). Sunflower (*Helianthus annuus* .L): genetic improvement using Conventional and in vitro technologies.*J.Crop.Improv.*24:349-391.[doi:10.1080/15427528.2010.500874](https://doi.org/10.1080/15427528.2010.500874).

Espinoza, Z. C. (1990). Guía para cultivar girasol de temporal en la zona media de

San Luis Potosí. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias de San Luis Potosí. Folleto para productores No. 1. San Luis Potosí. México. p.17

Fowler MW. (2006). Plants, medicines and man. *J Sci Food Agric* 86(12):1797–1804 3.

Giada, M. D. L. R. & Jorge Mancini-Filho. (2009). Antioxidant capacity of the striped sunflower (*Helianthus annuus* L.) seed extracts evaluated by three in vitro methods. Published online: 13 Aug 2009.
<https://doi.org/10.1080/09637480701755262>.

Gómez, S. N. D.; Espinoza, Z. C.; López, H. J.; Castro, R. V. y Álvarez, A. S. (2011). Producción de girasol de temporal para grano y combinado con maíz para ensilaje en Durango. Folleto para productores No. 11. INIFAP. Campo experimental Valle de Guadiana. Durango, México. P.1-2.

Ivanova;M.Slefora, F.Chinnici.J.Serb Chem.Soc. (2011). Compuestos fenólicos actividad antioxidante, contenido de resveratrol y componentes del aroma de 8 vinos peruanos.75, 45.

Luévanos E. M. P., M. H. Reyes V., J. A. Villarreal Q. & R. Rodríguez Herrera. (2010). Obtención de híbridos intergenéricos *Helianthus annuus* *Tithonia rotundifolia* y su análisis morfológico y molecular. *Acta botánica mexicana*. 90 (1). 105 – 118.

SAGARPA (Secretaría de agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2017). Planificación agrícola) nacional 2017-2030. Oleaginosas, Canola, Cártamo, Girasol.

SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2017). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola.



- Información disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2018). Girasol. Disponible, en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> Fecha de consulta: 31 agosto 2019.
- SNITT. (Sistema Nacional de Investigación y transferencia Tecnológica). (2018) Amexagro. Disponible, en: <http://www.amexagro.mx/> Fecha de consulta: 21 julio 2019.
- Szydłowska-Czeriak A. Konrad y Trokowski Edward Szłyk. (2010). Cultivos Industriales y Productos. Optimización de las condiciones de extracción de antioxidantes de las cáscaras de girasol (*Helianthus annuus* L.) antes y después del tratamiento enzimático. Información disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.09.016>
- Trápani, N.; M.López Pereira; V.O.Sadras y A.J.Hall. (2003). Girasol: Influencia del ambiente físico, el genotipo y el manejo en la generación del rendimiento y la calidad. En: E.Satorre, R.Benech, G.Slafer, E. de la fuente D.Miralles, M.Otegui, R.Savin. Producción de cultivos de granos: bases funcionales para su manejo. Editorial Facultad de Agronomía Buenos Aires. 205-241.
- Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K. Cisneros -Zevallos, L., & Byrne, D. H. (2006). Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(6–7), 669–675.
- USDA. (2019). Producción Supply y distribution electronic database. <https://www.fas.usda.gov/database/Production-Supply-and-distribution-online> –pad (acresessed 6 Abril 2019).
- Villalobos, F, J; V.O. Sadras; and E.Ferers. (1994). Planting density effects on dry matter partitioning and productivity.



POSTER

Evaluación de crecimiento y producción de biomasa de *pleurotus estratus* para biofloculación

Ángeles González Urbina, Nimbe Nayeli Carbajal Cruz, Víctor E. Aguirre Arzola, Celestino García Gómez

Facultad de Agronomía, UANL. Av. Francisco Villa S/N, Col. Ex Hacienda el Canadá, tel. (81) 1340 4399. Email: angelesgzzurbina@gmail.com

Resumen: Los floculantes convencionales, comúnmente utilizados para mejorar la eficiencia de la cosecha de microalgas, pueden contaminar el medio y generar una biomasa que no es adecuada para la producción de alimentos. En el presente estudio, *Pleurotus ostreatus*, una cepa fúngica comestible, se desarrolló en busca de una biomasa útil para la cosecha de microalgas. Los resultados muestran que los gránulos de *Pleurotus osteosus* cultivados bajo agitación de 120 rpm y una concentración de 30 g L⁻¹ de sacarosa utilizando PDB como medio de crecimiento dieron como resultado una mayor eficiencia de producción de pellets que los cultivados bajo el medio BBM. La máxima eficiencia de producción fue de 22.09 g con 7 días de incubación. El proceso anterior se podría utilizar para lograr una cosecha de microalgas de bajo costo y sin floculantes como materia prima para la alimentación o la producción de alimentos.

Palabras clave: Hongo, pellet, *pleurotus estratus*.

Abstract: Conventional flocculants, commonly used to improve the efficiency of microalgae harvesting, can contaminate the medium and generate biomass that is not suitable for food production. In the present study, *Pleurotus ostreatus*, an edible fungal strain, was developed in search of a useful biomass for microalgae harvesting. The results show that *Pleurotus osteosus* granules grown under 120 rpm shaking and a concentration of 30 g L⁻¹ of sucrose using PDB as growth medium resulted in higher pellet production efficiency than those grown under BBM medium. The maximum production efficiency was 22.09 g with 7 days of incubation. The above process could be used to achieve a low-cost, flocculant-free microalgae harvest as feedstock for food or food production.

Keywords: Fungi, pellet, *pleurotus estratus*.

Introducción

Se define a las algas como cada una de las plantas talofitas, unicelulares o pluricelulares, que viven de preferencia en el agua, ya sea dulce o marina. Usualmente contienen clorofila y otros pigmentos de colores. El cultivo de algas se realiza en masa y tienen un diferente destino; algunos de sus usos son como biocombustibles, biofertilizantes, en el

tratamiento de aguas residuales, alimentos, productos farmacéuticos etc. (Valdés et al., 2008). Las microalgas son fáciles de cultivar, tienen un crecimiento rápido y poseen un alto contenido lipídico. Estos organismos pueden crecer gracias a los nutrimentos que se encuentran en las aguas residuales y además tienen la capacidad de fijar CO₂ (Okoro et al., 2019). La mayoría de las microalgas de interés comercial son planctónicas, es decir, que



han evolucionado para permanecer suspendidas en una columna de agua, son de tamaño microscópico (Roselet et al., 2019). El uso de microalgas para la generación de energía requiere una producción a gran escala y de bajo costo. Esto exige un diseño de reactor barato y escalable con un suministro eficiente de los requisitos para una alta productividad de algas. Las consideraciones de diseño incluyen una óptima relación superficie-volumen para el suministro de luz, una mezcla óptima para mantener las células en suspensión y para la distribución de nutrientes, control sobre el balance de agua y esterilidad, así como el mantenimiento de una temperatura favorable (J. et al., 2011). Este autor también menciona que, para la producción de un producto primario, como proteínas o biomasa para alimentos o piensos, el objetivo principal es la optimización de la productividad de la biomasa. En este caso, generalmente se utilizan sistemas por lotes o continuos. Para la producción de un producto secundario como los carotenoides o los lípidos de almacenamiento, se ha propuesto el uso de dos o más etapas de producción para aumentar el rendimiento. Básicamente, la cosecha de microalgas es un proceso de separación que implica una mezcla heterogénea compuesta por un sólido discontinuo (las microalgas) y una fase líquida continua (el medio de cultivo). Existen diferentes técnicas para la recolección de biomasa, sin embargo, en los últimos años la biofloculación ha ido avanzando como un método sostenible. Es una técnica fácil de realizar y rentable, se posibilita su aplicación a nivel industrial. Económicamente es viable porque no implica costes en el pretratamiento de la biomasa, así mismo, el medio de cultivo de algas puede ser reutilizado (Nazari et al., 2020). Los factores que afectan a la biofloculación son: la concentración del biofloculante, el pH y la selectividad del

microorganismo. La velocidad a la que se logra la biofloculación depende de la relación entre el biofloculante y las microalgas no floculantes. El pH altera la carga superficial de las moléculas en el medio que dicta el grado de atracción/repulsión (Al Hattab et al., 2015).

Se busca la interacción de otros microorganismos para mejorar el proceso de separación, estas interacciones pueden ser de alga-bacteria, alga-hongo, alga-alga e incluso con plantas. Van Den Hende et al. (2011) menciona el uso de flóculos bacterianos de microalgas como un exitoso medio para el tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, solo faltaría su aplicación a nivel industrial. Ndikubwimana et al., (2016) demostraron que el biofloculante γ -PGA producido por *Bacillus licheniformis* CGMCC 2876 logra una eficiencia para flocular de más del 98% por lo tanto los autores proponen su implementación a nivel industrial.

Por otra parte, la interacción que ocurre en un sistema de alga-hongo es muy prometedor por la cosecha de biomasa en forma de pellets. La formación de pellets en presencia de hongos es un método de biofloculación, Zhou et al., (2012) utilizaron cepas de *Aspergillus sp.* Y la microalga *Chlorella vulgaris*, los autores mencionan que la recolección de biomasa asistida por hongos puede cosechar células de algas de manera eficiente sin ninguna modificación en el medio de cultivo y que para la cosecha solo se necesita una filtración, ante esto existe una reducción de costos y un potencial de comercialización. Luo et al., (2019) realizó una cosecha de microalgas con el uso de *Pleurotus ostreatus*, a una agitación de 100 rpm obtuvieron una eficiencia máxima de 64.86% en 150 minutos. La biofloculación dada por la interacción alga-alga se produce mediante la inserción de microalgas no solubles con otras



microalgas auto flocculantes, y se considera un método alternativo prometedor para la cosecha de microalgas. Una de las principales ventajas de este método en comparación con otros es que no requiere condiciones de cultivo diferentes (Nazari et al., 2020). La floculación por productos vegetales naturales es una de las posibles alternativas de bajo coste para la biofloculación de microalgas (Ummalyma et al., 2017). En un estudio realizado por (Abdul Razack et al., 2015) demuestra la eficiencia del polvo de semillas de *S. potatorum* en floculación de *C. vulgaris* por metodología de la superficie de respuesta (RSM). Las condiciones óptimas fueron de 100 mg L⁻¹ de biofloculante, una temperatura de 35°C, velocidad de agitación de 150 rpm y tiempo de incubación de 30 min, con una eficiencia máxima del 99.68%. Las semillas podrían ser un biofloculante ventajoso y novedoso en la tecnología de las algas y ayudar a la cosecha rica de microalgas para la producción rentable de biodiesel a partir de lípidos de algas.

El uso de biomasa se extiende desde el tratamiento de aguas residuales hasta la generación de energía. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue comparar los parámetros que influyen en la formación y crecimiento de pellets de *pleurotus ostreatus* como una opción viable para su aplicación en cosecha de microalga mediante biofloculación.

Materiales y Métodos

La cepa de hongo *pleurotus ostreatus* fue adquirida en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN y conservada para la experimentación. La investigación fue realizada en conjunto en el Laboratorio de remediación ambiental y el Laboratorio de ciencias

naturales de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Los micelios fúngicos se inocularon en matraces Erlenmeyer de 250 ml y se cultivaron a un tiempo de 7 días en un agitador rotatorio con incubación a 28 °C y pH neutro donde se analizó el efecto de la velocidad de rotación (0 y 120 rpm) y concentraciones de dextrosa (0, 10, 20 y 30 gL⁻¹) en diferentes tratamientos de acuerdo con el cuadro 1 se prepararon dos medios de cultivo caldo papa dextrosa (PDB: potato-dextrose-broth) y basal bold (BBM: Bold's basal medium). Para la preparación de PDB se requirió rehidratar 39 g del medio y se aforo a 1000 ml de agua bidestilada se puso a calentar hasta la ebullición con la finalidad de disolver el medio, posteriormente se añadió 20 g de sacarosa, se ajustó el pH a 6.0 y se dosificó 100 ml de caldo en matraces de 250 ml y se esterilizó a 121 °C por 15 min.

El BBM fue preparado con la siguiente composición (mg/l):

NaNO₃ (750),
CaCl₂·2H₂O (12.5),
MgSO₄·7H₂O (150),
FeSO₄ (6.27),
K₂HPO₄ (62.4),
KH₂PO₄ (225),
NaCl (0.341),
H₃BO₃ (5),
MnSO₄ (0.72),
ZnSO₄·7H₂O (17.64),
KOH (15.5),
NaCl (12.5),
CuSO₄·7H₂O (1.06),
NaMoO₃ (0.6),
CoCl₂ (0.2).

Todos los reactivos fueron grado reactivo sin purificación previa y las soluciones fueron realizadas utilizando agua destilada. Los experimentos se realizaron por triplicado, y los datos se analizaron utilizando el software Spss y Excel.



Después de cada tratamiento los pellets fúngicos fueron filtrados usando un tamiz de malla 200 antes de obtener su peso.

Una cinética preliminar de crecimiento fue realizada para determinar el tiempo de incubación en los tratamientos, utilizando medio PDB, 30 g L⁻¹ de glucosa y 120 rpm A 28 °C, durante 15 días.

Cuadro 1. Tratamientos utilizados para la producción de biomasa por *Pleurotus ostreatus*

Tratamiento	Medio	Glucosa g L ⁻¹	RPM
T1	BBM	0	0
T2	BBM	10	0
T3	BBM	20	0
T4	BBM	30	0
T5	BBM	0	120
T6	BBM	10	120
T7	BBM	20	120
T8	BBM	30	120
T9	PDB	0	0
T10	PDB	10	0
T11	PDB	20	0
T12	PDB	30	0
T13	PDB	0	120
T14	PDB	10	120
T15	PDB	20	120
T16	PDB	30	120

Resultados y Discusión

Una cinética de crecimiento fue realizada utilizando medio PDB con 30 g L⁻¹ de glucosa y 120 rpm, durante un periodo de 15 días, esto con el propósito de identificar el tiempo idóneo del para implementarse en los tratamientos de la investigación. Como lo muestra la figura 1 durante los primeros días el desarrollo es mínimo debido a la adaptación de la cepa al medio de crecimiento, posterior a los cuatro días se observa un crecimiento exponencial obteniéndose una concentración cercana a los 20 g L⁻¹ y además de una primera

etapa de estabilidad del crecimiento. Posterior a los 9 días una segunda etapa de crecimiento exponencial es observada antes de estabilizarse al cabo de 12 días y continuar constante hasta la finalización del experimento.

Un tiempo de 7 días fue seleccionado adecuado para la experimentación, dado que la formación de pellets fue la idónea en términos de morfología y homogeneidad de tamaño de pellets (~ 1 cm).

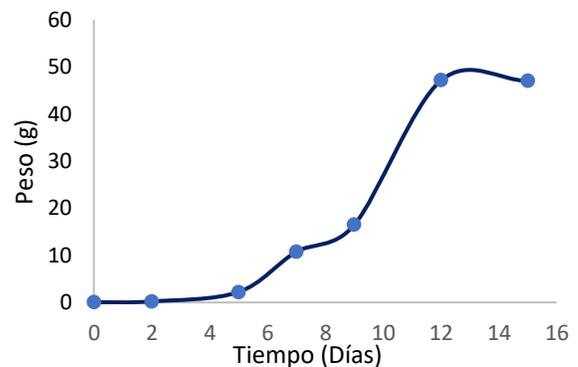


Figura 1. Cinética de crecimiento de *Pleurotus ostreatus* utilizando medio PDB, 30 g L⁻¹ de glucosa y 120 rpm.

El cuadro 2 muestra la media obtenida en cada uno de los tratamientos con el nivel de significancia al 95% de confianza, como se observa, en los tratamientos 15 y 16 se obtuvieron la mayor eficiencia en peso de biomasa de hongo, donde el coeficiente "a" representa la mayor significancia y el coeficiente "c" la menor.

Un análisis de varianza (ANOVA) prueba la hipótesis de que las medias de dos o más poblaciones son iguales. Los ANOVA evalúan la importancia de uno o más factores al comparar las medias de la variable de respuesta en los diferentes niveles de los factores. La hipótesis nula establece que todas las medias de la población (medias de los niveles de los factores) son iguales mientras que la hipótesis alternativa establece que al



menos una es diferente. Con un nivel de significancia del 95% el modelo establecido es significativo estadísticamente con una p menor al 5% (cuadro 3).

Cuadro 2. Comparación de medias del peso fresco obtenidas de *Pleurotus ostreatus* por Tukey.

Tratamiento	Media	Sig.= 0.05
1	0.12	c
2	0.57	c
3	1.13	c
4	1.93	b c
5	0.15	c
6	0.44	c
7	0.47	c
8	0.54	c
9	1.57	b c
10	1.28	c
11	1.76	b c
12	2.03	b c
13	1.3	c
14	5.77	b
15	21.04	a
16	22.09	a

La figura 2 muestra la cantidad de masa (peso) producida en cada uno de los tratamientos, como se logra observar el incremento significativo es evidente en los tratamientos 15 y 16 comparados con los tratamientos restantes del diseño experimenta.

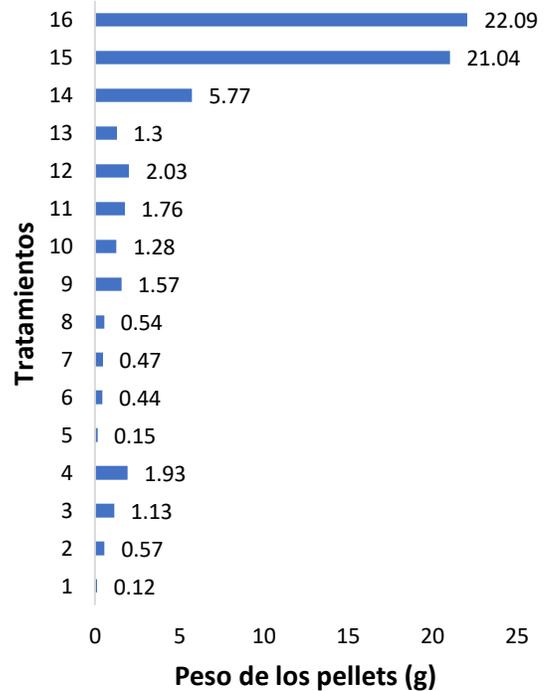


Figura 2. Peso obtenido de *Pleurotus ostreatus* en cada tratamiento.

La figura 3 muestra diversas imágenes de los resultados obtenidos en la experimentación. El 3. a) muestra el tamaño y peso del disco de *Pleurotus ostreatus* previo a ser inoculados en los 16 T, b) muestra la perfecta formación de pellet en el orden de 1 cm de diámetro, c) Crecimiento de los pellets en medio PDB a los 7 d de la siembra que corresponden al T20, d) pellets inoculados en medio Bold a los 7 d que corresponden al T8 pesando 0.54 g.

Cuadro 3. ANOVA

Origen	SC	GL	CM	F	Prob>F
Modelo	1100.248	3	366.749	13.617	0
Intersección	504.728	1	504.728	18.74	0
Glucosa	282.013	1	282.013	10.471	0.002
Revoluciones	321.058	1	321.058	11.92	0.001
Medio	497.177	1	497.177	18.459	0
Error	1185.078	44	26.934		
Total	3012.365	48			
Total Corregida	2285.325	47			



Sin contaminación nociva, la biomasa de algas se puede usar directamente como alimento o forraje, que tiene mayor valor que las materias primas para diferentes industrias. Las propiedades y el complemento nutricional efectivo de las microalgas en conjunto con los hongos son los principales criterios de selección para la aplicación industrial, este método también es prometedor porque la elección del hongo tiene un rango mayor, y por lo tanto, el costo para el cultivo de pellets de hongos podría ser dramáticamente reducido.

La recolección de algas utilizando floculantes de base biológica puede contribuir a la producción de células de algas de alta calidad, aunque la interferencia de materia orgánica en la muestra de agua podría reducir su eficiencia. Teniendo en cuenta el bajo costo del proceso, el procedimiento de aplicación simple, el factor de sostenibilidad y el bajo estrés en las células de algas, esta opción es más preferible. La floculación secuencial es otro aspecto a considerar cuando se busca una alta eficiencia de separación, ya que la floculación simple podría no ser efectiva para la recolección de rangos variados de algas debido a la fluctuación en las propiedades de las células y las diferencias en las propiedades extracelulares.

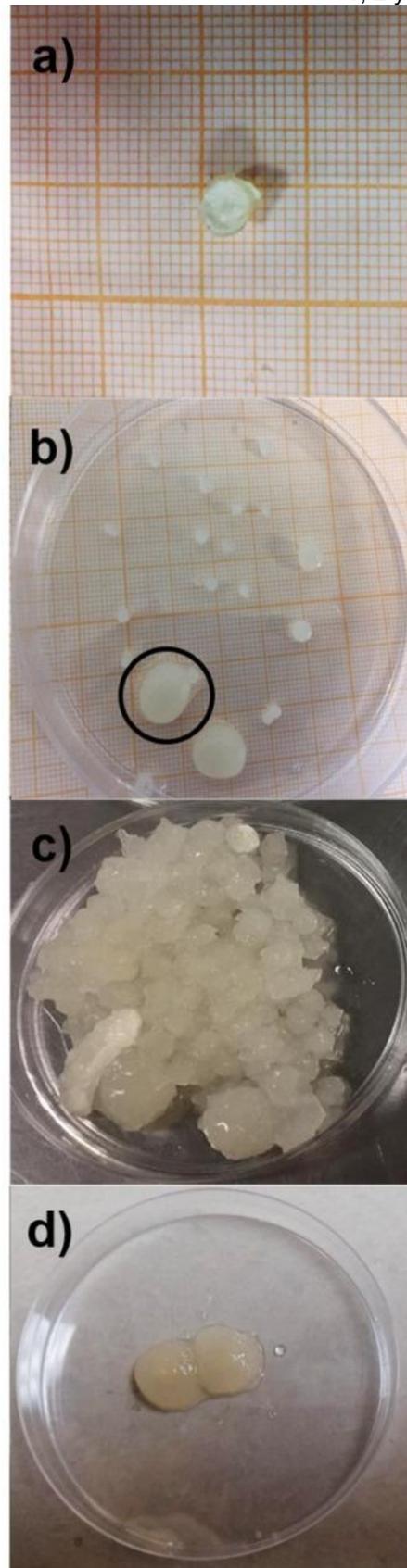




Figura 3. a) Tamaño y peso del disco de *Pleurotus ostreatus* previo a ser inoculados en los 16 T., b) pellet de 1 cm, c) Crecimiento de los pellets en medio PDB a los 7 d de la siembra que corresponden al T20, d) Pellets inoculados en medio Bold a los 7 d que corresponden al T8 pesando 0.54 g.

Conclusiones

El presente estudio investigó el efecto de la velocidad de rotación, la concentración de sustrato como glucosa y el tipo de medio de crecimiento. Los resultados indican que los gránulos de *Pleurotus ostreatus* cultivados bajo agitación de 120 rpm y 30 g L⁻¹ dieron como resultado una mejor eficiencia de producción de biomasa en forma de pellets que los cultivados bajo otras condiciones y medio Bold. La máxima eficiencia de producción de pellets que se alcanzó fue con 7 días días de incubación.

Una suspensión de pellets de hongo en cultivos de microalgas puede ser beneficiosa para una buena eficiencia de cosecha. Este proceso podría usarse para lograr un proceso de biofloculación de bajo costo y una cosecha libre de floculantes químicos y de esta manera obtener una biomasa de microalgas como materia prima para piensos o alimentos.

En la industria, el costo de la recolección de microalgas asistida por hongos se espera se reduzca aún más. En el corto plazo, otras fuentes de carbono orgánico de bajo costo podrían investigarse para reemplazar la glucosa, como la melaza de caña, fructosa, etc. A largo plazo perspectiva de utilización de recursos, aguas residuales o líquido de pirólisis de nitrógeno, fósforo y DQO tienen potencial como medio alternativo del método de recolección de microalgas asistido por hongos. Con el uso de carbono, nitrógeno

y fósforo de la biomasa residual como suministro de nutrientes alternativo, sostenible y renovable para la cocultivación de células fúngicas y de microalgas.

Agradecimientos:

Facultad de Agronomía por el uso de las instalaciones del Laboratorio de remediación ambiental y el Laboratorio de ciencias naturales.

Referencias bibliográficas

- Abdul Razack, S., Duraiarasan, S., Santhalin Shellomith, A. S., & Muralikrishnan, K. (2015). Statistical optimization of harvesting *Chlorella vulgaris* using a novel bio-source, *Strychnos potatorum*. *Biotechnology Reports*, 7, 150–156. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2015.06.006>
- Al Hattab, M., Ghaly, A., & Hammouda, A. (2015). Microalgae Harvesting Methods for Industrial Production of Biodiesel: Critical Review and Comparative Analysis Fundamentals of Renewable Energy and Applications. *Journal of Fundamentals of Renewable Energy and Applications*, 5(2), 1–26. <https://doi.org/10.4172/20904541.1000154>
- J., M., G., R., Richardson, C., & L. Harris, S. T. (2011). Advantages and Challenges of Microalgae as a Source of Oil for Biodiesel. *Biodiesel - Feedstocks and Processing Technologies*, November. <https://doi.org/10.5772/30085>
- Luo, S., Wu, X., Jiang, H., Yu, M., Liu, Y., Min, A., Li, W., & Ruan, R. (2019). Edible fungi-assisted harvesting system for efficient microalgae bio-flocculation. *Bioresource Technology*, 282(March), 325–330.



- <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.03.033>
- Nazari, M. T., Freitag, J. F., Cavanhi, V. A. F., & Colla, L. M. (2020). Microalgae harvesting by fungal-assisted bioflocculation. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, *0123456789*. <https://doi.org/10.1007/s11157-020-09528-y>
- Ndikubwimana, T., Zeng, X., Murwanashyaka, T., Manirafasha, E., He, N., Shao, W., & Lu, Y. (2016). Harvesting of freshwater microalgae with microbial bioflocculant: A pilot-scale study. *Biotechnology for Biofuels*, *9*(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s13068-016-0458-5>
- Okoro, V., Azimov, U., Munoz, J., Hernandez, H. H., & Phan, A. N. (2019). Microalgae cultivation and harvesting: Growth performance and use of flocculants - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *115*(July). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109364>
- Roselet, F., Vandamme, D., Muylaert, K., & Abreu, P. C. (2019). Harvesting of microalgae for biomass production. In *Microalgae Biotechnology for Development of Biofuel and Wastewater Treatment*. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2264-8_10
- Ummalyma, S. B., Gnansounou, E., Sukumaran, R. K., Sindhu, R., Pandey, A., & Sahoo, D. (2017). Bioflocculation: An alternative strategy for harvesting of microalgae – An overview. *Bioresource Technology*, *242*, 227–235. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.02.097>
- Valdés, A., Soto, B., Mayla, F., En, A., Pasado, E. L., & Futuro, P. E. L. (2008). Algas, Aliadas En El Pasado Y Sustento Para El Futuro. *Tecnología Química*, *XXVIII*(3), 46–50. <https://doi.org/10.1590/2224-6185.2008.3.%x>
- Van Den Hende, S., Vervaeren, H., Desmet, S., & Boon, N. (2011). Bioflocculation of microalgae and bacteria combined with flue gas to improve sewage treatment. *New Biotechnology*, *29*(1), 29–31. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.nbt.2011.04.009>
- Zhou, W., Cheng, Y., Li, Y., Wan, Y., Liu, Y., Lin, X., & Ruan, R. (2012). Novel fungal pelletization-assisted technology for algae harvesting and wastewater treatment. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, *167*(2), 214–228. <https://doi.org/10.1007/s12010-012-9667-y>