

Nora Reyes Villegas
(Coordinadora)

UACJ



*Ciencia en la frontera:
revista de ciencia y tecnología
de la Universidad Autónoma
de Ciudad Juárez*

DIRECTORIO

Juan Ignacio Camargo Nassar
Rector

Daniel Constandse Cortez
Secretario General

Beatriz Araceli Díaz Torres
*Coordinadora General de
Investigación y Posgrado*

Salvador Nava Martínez
Director del ICB

José Alberto López Díaz
Jefe del Departamento de Ciencias Químico-Biológicas

Jesús Meza Vega
Director General de Comunicación Universitaria

Nora Carmen Reyes Villegas
Editor responsable

COMITÉ EDITORIAL DEL ICB

SALVADOR NAVA MARTÍNEZ
Director del ICB

JOSÉ ALBERTO LÓPEZ DÍAZ
Jefe del Departamento de Ciencias Químico Biológicas

JOSÉ JAIR GUERRERO ÁVILA
Jefe del Departamento de Ciencias de la Salud

RAMÓN RIVERA BARRENO
Jefe del Departamento de Ciencias Veterinarias

SERGIO SOLTERO HERRERA
Jefe del Departamento de Estomatología

FLORINDA JIMÉNEZ VEGA
Consejera editorial por el ICB

COMITÉ EDITORIAL DEL NÚMERO

DR. FORTUNATO GARZA OCAÑAS
Universidad Autónoma de Nuevo León

DRA. ALICIA MELGOZA
Universidad Autónoma de Chihuahua

MTRA. ANA BEATRIZ VALDEZ LEYVA
Laboratorio de Agri-Diagnósticos

DRA. RAQUEL DUARTE RICO
Universidad Autónoma de Chihuahua

ING. DANIS M VERDECIA ACOSTA.
Universidad de Granma, Cuba

DR. HUGO ENRIQUE HERNÁNDEZ CONTRERAS
Universidad Mundial, Campus La Paz

DRA. MA. DOLORES GONZÁLEZ QUEZADA
Universidad de Texas en El Paso

DR. SERGIO FLORES GARCÍA
Universidad de Texas en El Paso

DR. EDUARDO POBLANO OJINAGA
Instituto Tecnológico de La Laguna

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS QUÍMICO-BIOLÓGICAS INSTITUTO DE CIENCIAS BIOMÉDICAS

Ciencia en la Frontera: Revista de Ciencia y Tecnología de la UACJ / Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Coordinación General de Investigación y Posgrado.
Vol. XVI (2021). Ciudad Juárez, Chih.: UACJ, 2021. v. ; 21 cm. Seriado.

Ciencia en la frontera: revista de ciencia y tecnología de la UACJ, Vol. XVI, Núm. 2, 2021, es una publicación semestral editada por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, a través del Instituto de Ciencias Biomédicas, la Coordinación General de Investigación y Posgrado del ICB y el Departamento de Ciencias Básicas. Editor responsable: Nora Carmen Reyes Villegas (nreyes@uacj.mx). Reserva al uso exclusivo otorgada por Indautor Núm. 04-2021-042314540700-203 y el ISSN 2007-042X. Copyright © UACJ.

Los manuscritos propuestos para publicación en esta revista deberán ser inéditos y no haber sido sometidos a consideración a otras revistas simultáneamente. Al enviar los manuscritos y ser aceptados para su publicación, los autores aceptan que todos los derechos se transfieren a *Ciencia en la frontera: revista de ciencia y tecnología de la UACJ*, quien se reserva los de reproducción y distribución, ya sean fotográficos, en micropelícula, electrónicos o en cualquier otro medio, y no podrán ser utilizados sin permiso por escrito de *Ciencia en la frontera: revista de ciencia y tecnología de la UACJ*; véase, además, notas para autores.

Permisos para otros usos: el propietario de los derechos no permite utilizar copias para distribución en general, promociones, creación de nuevos trabajos o reventa.

Disponible en: erevistas.uacj.mx

CONTENIDO

Uso de *Trichoderma asperellum* y lombricomposta para el control de secadera en *Physalis ixocarpa* Brot

Ceballos-Chávez, Á. R.

Lizárraga-Sánchez, G. J.

López-Valenzuela, B. E.

Félix-Gastélum, R.

Longoria-Espinoza, R. M.

Beltrán-Peña, H. 7

Diversidad, ecología y uso potencial de líquenes epífitos de Chihuahua

Zuñiga-González, R. A.

Álvarez-Barajas, I. L.

Corral-Avitia, A. Y.,

Flores-Margez, J. P.

Enríquez-Anchondo, I. D.

Quiñónez-Martínez, M. 19

Composición de la leche de cabras Alpino Francesa suplementadas con aceites vegetales durante la lactancia

González-García, H.

Cortés-Sánchez, M. L.

Orozco-Erives, A.

López-Díaz, J. A.

Oreste La O-León

Vivas-Arturo, W. F. 33

Reducción de desperdicio en proceso de fabricación de faro automotriz

Fuentes, M. MC

Herrera, R. E.

Lerma, F. A.

Saucedo, S. R. 51

ABSTRACTS

Use of *Trichoderma asperellum* and vermicompost to control drying in *Physalis ixocarpa* Brot

The wilt disease caused by the fungal complex can cause losses of 50% in *Physalis ixocarpa*. The objective of this work was to determine the effectiveness of *Trichoderma asperellum* and vermicompost as a biocontrol strategy in in vitro and greenhouse conditions. The antagonism evaluation was carried out of which the strain with the highest degree of inhibition was obtained, inoculating 5 g of each of the pathogens; the antagonist was inoculated five days later, with a concentration of 1×10^6 microconidia mL⁻¹, when using a vermicompost substrate for cattle, sheep, and alluvial soil. Evaluating different agronomic variables, a completely randomized design with factorial arrangement with a significance level of $p < 0.005$ was used. *T. asperellum* inhibited pathogens with 83% compared to 100%; the treatment of vermicompost of sheep + alluvial soil + *T. asperellum* was the best substrate.

Keywords: wilt; pathogen; antagonist; fungal complex. 7

Diversity, ecology and potential use of epiphytic lichens from Chihuahua

Lichens are organisms that due to their close relationship with the habitat and substrate in which they grow, play an important role in ecological processes. Lichens have important applications in the field of traditional therapeutic or spiritual medicine, as well as for the chemical and textile industry. In the state of Chihuahua, there is a great diversity and richness of lichens, and many species are little known. In this study a review of the richness, ecology, and potential use of these lichens, as well as their relationship with forest ecosystems was made. Lichens are of great relevance to increase actions focused on conservation research, forest management and sustainability.

Keywords: epiphyte, thallus, forest ecosystems, conservation. 19



Composition of milk from French Alpine goats supplemented with vegetable oils during lactation

To evaluate the effect of supplemented diet with vegetable oils on dairy goats on milk quality during 70 days of lactation, 40 French Alpine adult goats were used (70 days in milk, BW 35 kg, and age of 36 months old). The goats distributed themselves at random in three groups, Control goats diet to which were offered sorghum silage and alfalfa hay-like basal diet, plus 400 gr of concentrate (16 % PC), and two separate groups with control diet supplemented with soybean oil, and canola oil, at a level of 2,5 % of the total diet. Analysis of the information was fitted to a model for a completely random design. The diets with oils (soy or canola) presented greater values of milk fat concerning the control diet (3.12, 2.86 vs 2.65 %), respectively. The mean protein concentration (3.42 %) and total solids (11.21 %) displayed higher contents in goat milk supplemented with soy oil. One concludes that the supplemented lactation diet with soy oil in dairy goats positively modifies the milk quality.

Keywords: dairy goats, vegetable oils, milk quality. 33

Waste reduction in the automotive headlamp manufacturing process

The automotive parts assembly company is one of the important industries in the global market. The applications of engineering and statistical tools are essential to constantly improve processes. This project is conducted in an automotive company dedicated to the manufacture of headlights. With the application of the six-sigma philosophy in its DMAIC phases and quality tools, the amount of waste during the automotive headlight lens manufacturing process was reduced, which presented a considerable increase in the last 4 years, affecting the costs and effectiveness in the process, generating a risk of non-compliance in the delivery time in the client's requirements. Using the design of experiments and the analysis of capacity in the Poisson distribution, the contamination in the glasses were measured before and after the improvement, providing sufficient evidence to support the reduction of waste by 44.65%.

Keywords: waste, Automotive Headlight, Reduction, Graphics, DMAIC. 51

INVESTIGACIÓN ORIGINAL

Uso de *Trichoderma asperellum* y lombricomposta para el control de secadera en *Physalis ixocarpa* Brot

Ceballos-Chávez, Á. R.,¹ Lizárraga-Sánchez, G. J.,^{1*} López-Valenzuela, B. E.,² Félix-Gastélum, R.,¹ Longoria-Espinoza, R. M.² y Beltrán-Peña, H.¹

Recibido: 13 de agosto de 2021

Segunda revisión: 4 de octubre de 2021

Aceptado: 6 de octubre de 2021

RESUMEN

La enfermedad de la marchitez ocasionada por el complejo de hongos puede causar pérdidas de un 50 % en *Physalis ixocarpa*. El objetivo de este trabajo fue determinar la efectividad de *Trichoderma asperellum* y lombricomposta como estrategia de biocontrol en condiciones *in vitro* e invernadero. Se realizó la evaluación de antagonismo, de la cual se obtuvo la cepa con mayor grado de inhibición, inoculando 5 g de cada uno de los patógenos; el antagonista fue inoculado cinco días después, con una concentración de 1×10^6 microconidios mL^{-1} , al utilizar como sustrato lombricomposta de ganado vacuno, ovino y suelo de aluvión. Evaluando diferentes variables agronómicas, se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial con un nivel de significancia de $p < 0.005$. *T. asperellum* inhibió a los patógenos con un 83 % respecto al 100 %; el tratamiento de lombricomposta de ganado ovino + suelo aluvión + *T. asperellum* fue el mejor sustrato.

Palabras clave: marchitez; patógeno; antagonista; complejo de hongos.

1 Universidad Autónoma de Occidente-UR Los Mochis, Sinaloa, México.

2 Laboratorio de Fitopatología de la Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte (FAVF), Sinaloa, México.

* Autor para correspondencia: glendalizarraga@favf.mx

ABSTRACT

The wilt disease caused by the fungal complex can cause losses of 50% in *Physalis ixocarpa*. The objective of this work was to determine the effectiveness of *Trichoderma asperellum* and vermicompost as a biocontrol strategy in *in vitro* and greenhouse conditions. The antagonism evaluation was carried out of which the strain with the highest degree of inhibition was obtained, inoculating 5 g of each of the pathogens; the antagonist was inoculated five days later, with a concentration of 1×10^6 microconidia mL⁻¹, when using a vermicompost substrate for cattle, sheep, and alluvial soil. Evaluating different agronomic variables, a completely randomized design with factorial arrangement with a significance level of $p < 0.005$ was used. *T. asperellum* inhibited pathogens with 83% compared to 100%; the treatment of vermicompost of sheep + alluvial soil + *T. asperellum* was the best substrate.

Keywords: wilt; pathogen; antagonist; fungal complex.

INTRODUCCIÓN

En México, el tomate verde o tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot.) se encuentra dentro de las cinco hortalizas más cultivadas (Sader [Sagarpa], & SIAP, 2018) con un total de 22 952 ha sembradas con una producción de 421 769 t. El estado de Sinaloa es el principal productor con una superficie sembrada de 6993 ha, produciendo 120 370 t, y le continúan Nayarit con 21 915 t; Michoacán con 2836 t; y Chiapas con 2555 t (SIAP, 2019).

En Sinaloa, se ha identificado la presencia de enfermedades fúngicas en el cultivo del tomate verde (*Physalis ixocarpa*), como la marchitez, la cual puede presentarse cuando la siembra es directa, aunque los mayores daños ocurren en los almácigos establecidos en charolas bajo invernaderos o cubiertos con malla-sombra. Los hongos invaden los tejidos radicales y meristemáticos, lo que provoca necrosis de los tejidos vasculares ahorcando la planta; conociéndose como agente causal de esta enfermedad a un complejo de hongos, tales como *Fusarium oxysporum*, *Macrophomina phaseolina* y *Rhizoctonia solani* (Apodaca *et al.*, 2013).

El uso excesivo de plaguicidas químicos puede originar la selección de resistencia en poblaciones

de algunas especies patogénicas, contaminación de mantos acuíferos, repercusiones en la salud humana e inocuidad alimentaria. Debido a lo anterior, se han buscado alternativas más afables ambientalmente, como el control biológico, el cual posee buenas cualidades por su versatilidad, adaptabilidad y fácil manipulación (Franco *et al.*, 2012; Guédez *et al.*, 2012; Martínez, Infante, & Reyes, 2013). Gran parte de los beneficios del control biológico es que se modifican las condiciones ambientales, estimulando el crecimiento de las plantas y potencializando los mecanismos de defensa o produciendo antibióticos; de igual manera, también se puede realizar un biocontrol directamente mediante micoparasitismo (Guigón, & Guerrero, 2010).

El control biológico se define como el uso de organismos (o de sus metabolitos o subproductos) que son enemigos naturales de una plaga o patógeno, con el fin de reducir o eliminar sus efectos dañinos en plantas o sus productos (Serrano, & Galindo, 2007); es a menudo una actividad comercial de enemigos naturales (Lenteren, 2012), por ejemplo, *Bacillus subtilis* o *Trichoderma* spp. Pueden ayudar al manejo de la enfermedad cuando se aplican a las plántulas en los semilleros o mediante el goteo en la plantación definitiva (Apodaca *et al.*, 2008).

Por otro lado, el uso de sustrato de lombricomposta ha demostrado ser una estrategia efectiva a largo plazo, ya que es necesaria la adaptación y establecimiento de los microorganismos al ambiente donde se aplica un mecanismo muy diferente al de los productos químicos por su rápida acción (Oliveros *et al.*, 2012).

El objetivo del presente estudio fue desarrollar una alternativa de control biológico para el manejo de hongos causantes de la marchitez (*F. oxysporum*, *M. phaseolina* y *R. solani*) del tomate verde por medio de evaluaciones, tanto *in vitro* como *in planta* mediante el género *T. asperellum* y, con ello, disminuir la aplicación de productos químicos que dañen el ambiente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de aislados

Las cepas patógenas (*F. oxysporum*, *M. phaseolina* y *R. solani*) fueron obtenidas y aisladas en 2015 del material vegetativo de raíz y cuello de plantas de tomate verde pertenecientes a campos agrícolas de Guasave, Ahome y El Fuerte, Sinaloa. Se etique-

taron cada uno de los aislados: *F. oxysporum* (F-05, F-17 y F-22), *M. phaseolina* (M-12, M-30 y M-85) y *R. solani* (R-21, R-32 y R-80). Los aislados fueron conservados: para *F. oxysporum* se realizó en tubos Falcon de 50 mL con arena de río previamente tamizada y esterilizada (Gutiérrez *et al.*, 2017); para *M. phaseolina* y *R. solani* se conservaron en tubos de ensayo de 50 mL en medio papa dextrosa agar (PDA) a 4 °C (Panizo *et al.*, 2005).

La cepa de *T. asperellum* fue aislada en 2014, obtenida de la raíz de bugambilia (*Bougainvillea spectabilis*) en Ahome, Sinaloa. La cepa de *T. asperellum* se conservó en tubos Falcon de 50 mL en medio PDA, adicionándole CaCO₃. Asimismo, se reactivaron y se purificaron con la metodología de Gato (2010) y López *et al.* (2015).

Cultivos duales

Para determinar el grado de inhibición, se desarrollaron pruebas *in vitro*, evaluando la correlación de ambos microorganismos (patógenos-antagonista), obteniendo la cepa con mayor grado de inhibición, tanto de forma estadística como por la escala propuesta por Baker y Cook (1974) (Tabla 1), la cual fue utilizada para evaluar las fuentes de inóculo (Panizo *et al.*, 2005; Gato, 2010; Guigón, & Guerrero, 2010).

El porcentaje de inhibición del crecimiento radial, se llevó a cabo mediante confrontaciones duales entre los microorganismos (patógeno-antagonista) en cajas Petri con medio de cultivo PDA y con ayuda de un sacabocado; se tomaron discos de 10 mm de diámetro con micelio del antagonista (*T. asperellum*) y los patógenos (*F. oxysporum*, *M. phaseolina* y *R. solani*); se colocaron en los extremos de la caja Petri a 6.0 cm de separación uno del otro y los discos con el micelio, se incubaron a 27 °C; se midió el crecimiento durante 7 días con un calibrador Vernier digital (marca Truper). Los datos obtenidos se transformaron en una escala de capacidad antagónica (Tabla 1).

Para ensayos *in vitro*, se utilizó la técnica modificada por López *et al.* (2015). Se determinó el porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PICR), de acuerdo con la fórmula $PICR = (R1 - R2) / R1 \times 100$ (Rhaim, 2014; Duarte, Lamz, & Martínez, 2017).

Producción de inóculo

Para las cepas de *Ma. phaseolina* y *R. solani*, se utilizaron frascos de cristal con tapa plástica, con 350 g de sorgo (*Sorghum vulgare*) quebrado estéril, envueltos con papel aluminio (previamente se esterili-

zaron a 12 °C por 1 h). Posteriormente, se agregaron 10 discos miceliales de 0.5 cm de diámetro del aislado correspondiente; se incubaron a temperatura ambiente en completa oscuridad. Para el inóculo de *F. oxysporum*, se agregaron discos miceliales con 6 días de crecimiento; de igual manera, en frascos de vidrio con 350 g de maíz (*Zea mays*) amarillo quebrado estéril por 30 días a temperatura ambiente (Vázquez *et al.*, 2009; Armando *et al.*, 2017).

Bioensayo in planta

La evaluación del biocontrol de *T. asperellum* y lombricomposta sobre *F. oxysporum*, *M. phaseolina* y *R. solani*, se llevó a cabo bajo condiciones de invernadero. Se sembraron de 5 a 8 semillas de tomate verde, de la variedad Querétaro (91 % de germinación), en bolsas de polietileno de 1 kg de capacidad; una vez germinadas las semillas, se dejaron 4 plantas por maceta. Se aplicaron riegos a capacidad de campo 4 veces por semana.

La confrontación dual se realizó en plantas de *P. ixocarpa*, con 45 días de crecimiento, estableciendo 10 tratamientos (Tabla 2) mediante un diseño experimental completamente al azar, con arreglo factorial, con un total de 10 tratamientos con 4 repeticiones por tratamiento, dejando como control el tratamiento 10 (testigo positivo). Resultando con un total de 180 unidades experimentales por bioensayo, de los cuales se utilizaron 50 kg de lombricomposta de ganado vacuno, al igual que de ganado ovino, y el resto de suelo aluvión pasteurizado (80 kg) por bioensayo. El bioensayo tuvo una duración de 30 días de crecimiento después de la inoculación de los patógenos; el primer bioensayo se estableció de diciembre de 2018 a febrero de 2019 y el segundo, de marzo a mayo de 2019, siguiendo la técnica propuesta por González, Maruri y González (2005), donde se evaluaron diversos sustratos de suelo mediante la inoculación con *T. asperellum* y los patógenos *F. oxysporum*, *M. phaseolina* y *R. solani*.

Para inocular los patógenos (*F. oxysporum*, *M. phaseolina* y *R. solani*), se utilizó la metodología propuesta por Johnson y Carl (1972) usando una espátula estéril con la cual se removió la capa superficial de suelo o sustrato que cubría las raíces secundarias de cada planta experimental y se mezcló con 5 g del inóculo correspondiente preparado en sorgo (*S. vulgare*) y maíz (*Z. mays*). Para el caso de *F. oxysporum* esta mezcla sirvió para cubrir nuevamente las raíces; en el caso con *T. asperellum* (técnica modificada para antagonista), se inoculó mediante el mé-

todo de inyección de esporas en la rizósfera de las plantas en el bioensayo. Cada unidad experimental, se inoculó con 10 mL de una solución conidial de *T. asperellum* a una concentración de 1×10^6 esporas mL⁻¹ y con 10 mL de agua destilada, obteniendo un conteo de 2089 a 2600 esporas mL⁻¹ el cual fue inoculado 5 días después de agregar el inóculo de los patógenos. Se aplicó a una profundidad de 2.0 cm, a partir de los 8 días después de la siembra (dds) y se agregó una solución de fertilizante comercial triple 17 ultrasoluble en concentración de 2 gL⁻¹ por unidad experimental en el tratamiento 7.

Se evaluó la incidencia de la enfermedad (%) (plantas marchitas o con muerte total) por tratamiento cada 48 h durante 30 días y se estimó mediante la fórmula $I_i = (n_i / N_i)100$ (metodología complementada por Magdaleno *et al.*, 2006; Vázquez *et al.*, 2009; Peña *et al.*, 2014). Para obtener la longitud de la planta, se siguió la técnica empleada por Peña *et al.* (1998) en la cual se utilizó una regla metálica graduada en centímetros, donde se tomó la medida desde la punta de la raíz hasta la copa de la última rama apical; en el caso del peso fresco del follaje y la raíz, se cortó la planta en dos partes, a partir de la base del tallo, y se pesó independientemente cada parte en una balanza analítica (ZEN 236); para estimar el peso seco del follaje y la raíz, se colocaron en bolsas de papel de 500 g y, posteriormente, se secaron en estufa a 70 °C durante 72 h; y, finalmente, se pesaron en una balanza analítica (metodología complementada por Magdaleno *et al.*, 2006). En cuanto a la severidad, se utilizó una escala de daño de la raíz (Tabla 3), de acuerdo con Abdel-Fattah *et al.* (2010).

Tabla 3. Escala de daño de la raíz, de acuerdo con Carling *et al.* (1999)

Valor	Parámetro de sintomatología
0	Sin daños
1	Decoloración menor de hipocótilo
2	Decoloración más lesiones necróticas pequeñas (< 1 mm de diámetro) en el hipocótilo
3	Decoloración con lesiones necróticas grandes (≥ 1 mm de diámetro) en el hipocótilo
4	Muerte de la planta

Fuente: Carling *et al.* (1999).

Análisis estadístico

Los datos registrados fueron sometidos a un análisis de varianza (Anova) no paramétrico, recurriendo a la prueba Wilcoxon/Kruskal-Wallis (Rank sums) ($p < 0.005$), por lo que se procedió a utilizar el *software* estadístico InfoStat (*software* versión estudiantil, 2016). Para los bioensayos *in planta*, se utilizó una prueba paramétrica, de acuerdo con el diseño experimental empleado en dos modalidades, el cual involucró los 10 tratamientos utilizando el método de comparación de medias de Tukey, con una probabilidad de $p < 0.05$, empleando, para ello, el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS) versión 9.4.

RESULTADOS

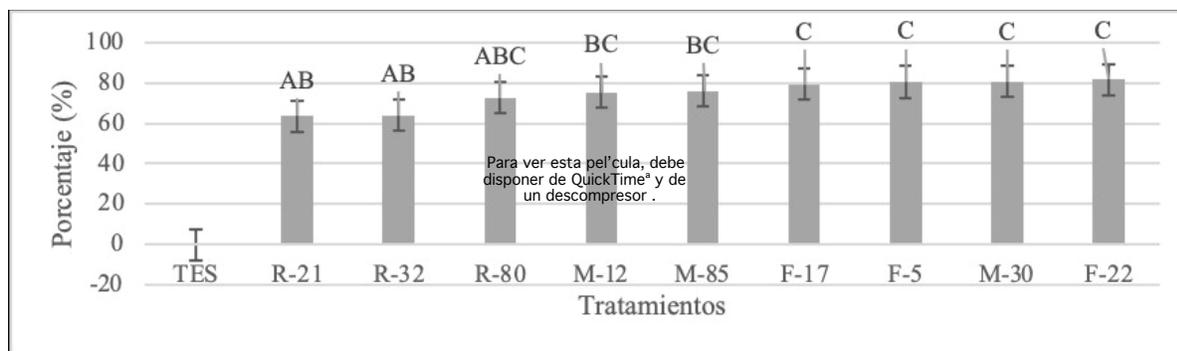
Confrontación *in vitro*. Todas las cepas aisladas mostraron las clases 1 y 2 (Tabla 1) de antagonismo contra los patógenos, de acuerdo con la escala de capacidad antagonica propuesta por Bell, Well y Markham (1982), estadísticamente identificadas (Figura 1) entre los tratamientos; las cepas de ambos bioensayos *in vitro* presentaron menor crecimiento en los aislados de *F. oxysporum* y un aislado de *M. phaseolina* (M-30) respecto al testigo.

Tabla 1. Escala de capacidad antagonica *in vitro* para *Trichoderma* spp., de Baker y Cook (1972)

Grados en la escala	Características del grado
1	<i>Trichoderma</i> spp. crece completamente sobre la colonia del patógeno y cubre la superficie del medio de cultivo.
2	<i>Trichoderma</i> spp. crece, al menos, sobre las dos terceras partes de la superficie del medio de cultivo.
3	<i>Trichoderma</i> spp. y el patógeno cubren aproximadamente la mitad de la superficie del medio de cultivo.
4	El patógeno crece, al menos, en las dos terceras partes del medio de cultivo, limitando el crecimiento de <i>Trichoderma</i> spp.
5	El patógeno crece sobre la colonia de <i>Trichoderma</i> spp. ocupando toda la superficie del medio de cultivo.

Fuente: Baker y Cook (1974).

Figura 1. Porcentaje de inhibición de *Trichoderma asperellum* contra patógenos respecto al testigo



F = *Fusarium oxysporum*; M = *Macrophomina phaseolina*; R = *Rhizoctonia solani*; TES = Testigo

Fuente: elaboración propia, 2021.

Evaluación en condiciones de invernadero.

Para llevar a cabo la evaluación *in planta* de control biológico de *T. asperellum* sobre *F. oxysporum*, *M. phaseolina* y *R. solani* con distintos sustratos, se obtuvo una muestra representativa de ambas compostas para su análisis químico con el objetivo de utilizarlo como sustrato en la realización de bioensayos con diversos sustratos de ambas compostas (lombricomposta de ganado ovino y lombricomposta de ganado vacuno).

Altura. Se observó una mayor altura de la planta (cm) en el tratamiento 8 (lombricomposta + suelo + *Trichoderma*) de 50 % respecto al testigo de 100 %; seguido de los tratamientos que fueron inoculados con *T. asperellum* (tratamientos 9, 4 y 5) (Tabla 2) en comparación con la menor altura de la planta en relación con el testigo que presentó el tratamiento 7 (Figura 2). Se observa que no hay diferencias significativas con *Fusarium* y *Macrophomina* respecto al testigo, y con *R. solani* y mezcla de patógenos difieren significativamente del testigo (Figura 3).

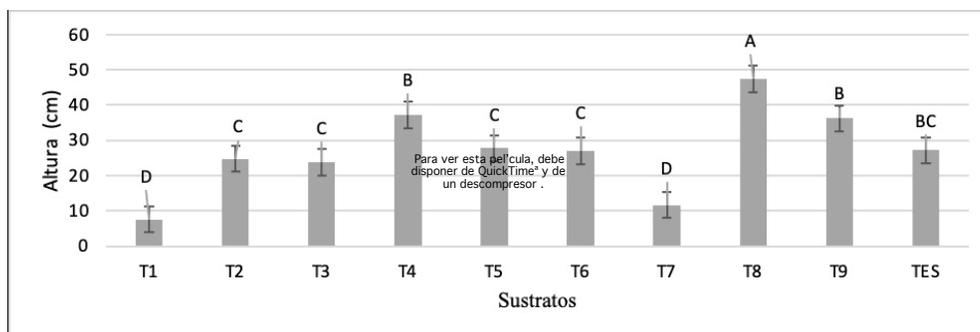
Tabla 2. Tratamientos a evaluar en el experimento *in planta* bajo condiciones de invernadero

Número de Tratamiento	Descripción de tratamientos
1	Suelo aluvión + patógenos (F, M y R)
2	<i>Trichoderma asperellum</i> + suelo aluvión + patógenos
3	Lombricomposta de vacuno + patógenos
4	<i>Trichoderma asperellum</i> + lombricomposta de ovino + patógenos
5	<i>Trichoderma asperellum</i> + lombricomposta de vacuno + patógenos
6	Lombricomposta de ovino + patógenos
7	Fertilización química con una solución triple 17 ultrasoluble de 2 g L ⁻¹ + patógenos
8	Lombricomposta de ovino + suelo aluvión + <i>Trichoderma asperellum</i> + patógenos
9	Lombricomposta de vacuno + suelo aluvión + <i>Trichoderma asperellum</i> + patógenos
10	Testigo positivo

F = *Fusarium oxysporum*; M = *Macrophomina phaseolina*; R = *Rhizoctonia solani*

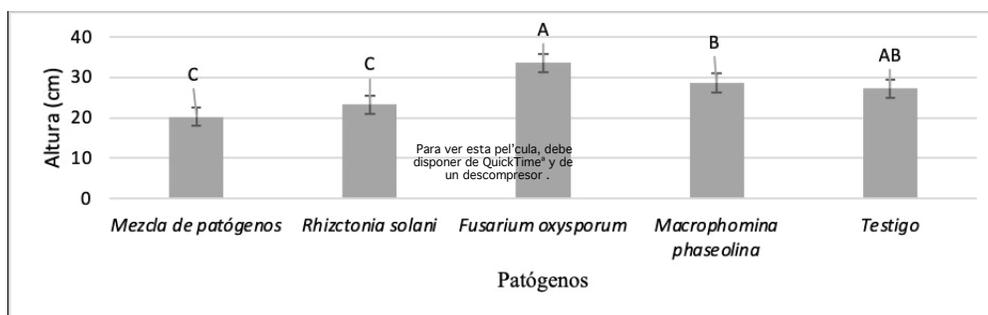
Fuente: elaboración propia, 2021.

Figura 2. Altura de la planta (cm) respecto a los diferentes sustratos



Fuente: elaboración propia, 2021.

Figura 3. Altura de la planta (cm) en relación con los diferentes patógenos

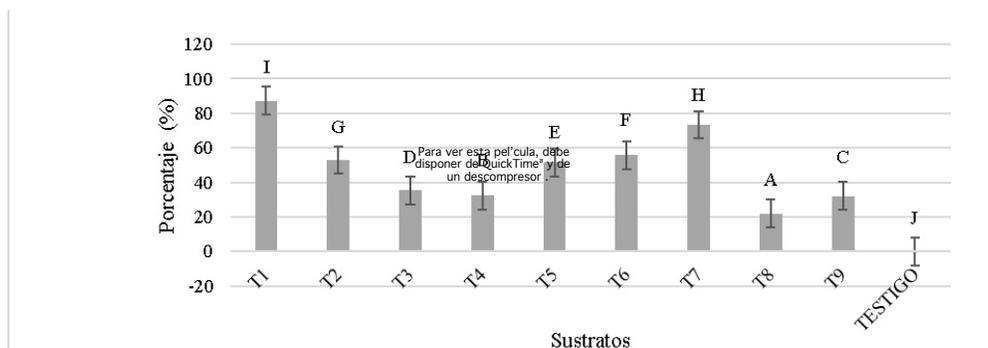


Fuente: elaboración propia, 2021.

Incidencia. En los tratamientos inoculados con el antagonista (*T. asperellum*) mostraron menor porcentaje de incidencia en cuanto a los sustratos, desarrollándose mayor incidencia en los tratamien-

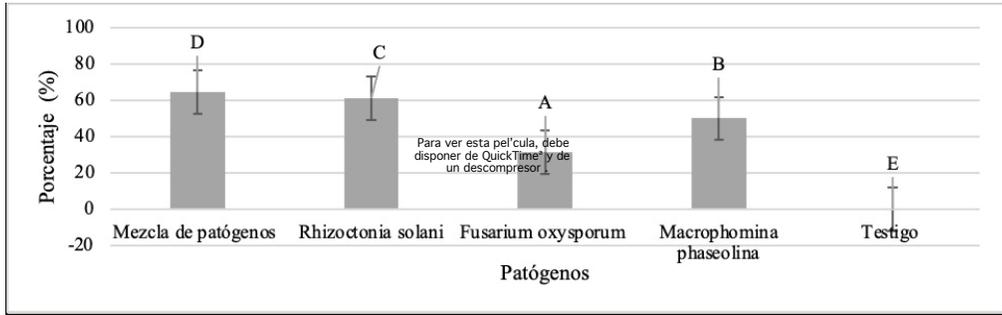
tos 1 (suelo + patógenos) y 7 (suelo + fertilización química) (Figura 4). Se pudo apreciar que se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos en relación con el testigo (Figura 5).

Figura 4. Incidencia en planta de tomate verde (*Physalis ixocarpa*) observada cada 48 h durante 30 días respecto a los sustratos



Fuente: elaboración propia, 2021.

Figura 5. Incidencia en planta de tomate verde (*Physalis ixocarpa*) observada cada 48 h en relación con los patógenos

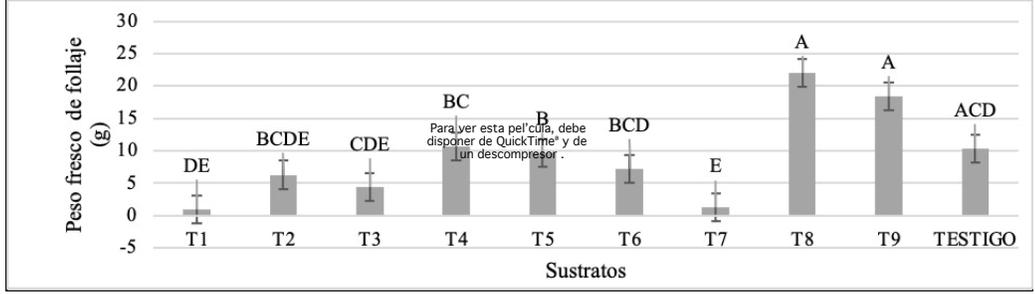


Fuente: elaboración propia, 2021.

Peso fresco de follaje. Los sustratos que favorecieron a tratamientos que mostraron mayor peso fresco de follaje son el 8, 9 y 4 (Figura 6); mientras que, en el caso de los patógenos, los tratamientos

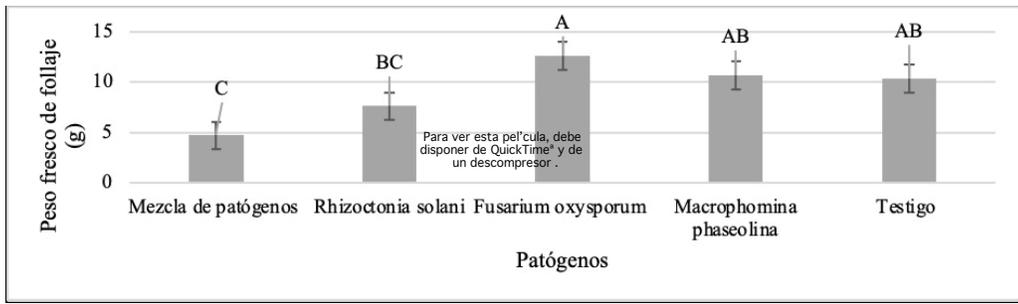
que presentaron menor peso fresco fueron la mezcla de patógenos y *R. solani* respecto al testigo (Figura 7).

Figura 6. Peso fresco (g) de follaje respecto a los sustratos



Fuente: elaboración propia, 2021.

Figura 7. Peso fresco (g) de follaje en relación con los patógenos

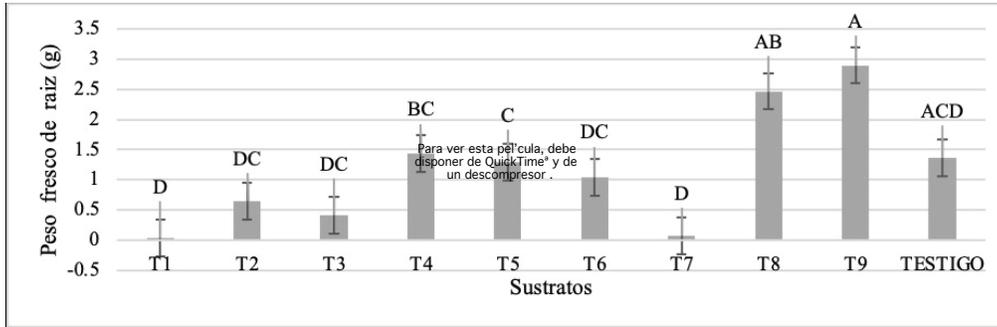


Fuente: elaboración propia, 2021.

Peso fresco de raíz. El tratamiento que mostró mayor peso fresco de raíz fue el 9 en relación con el testigo (Figura 8); mientras que, en el caso de

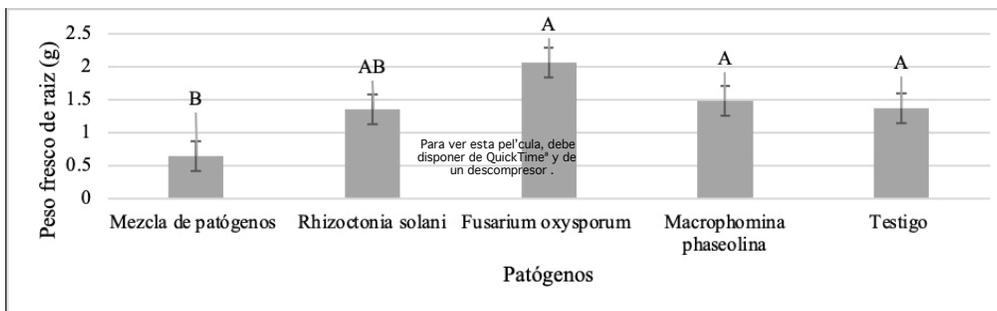
los patógenos, el tratamiento que presentó menor peso fresco fue la mezcla de patógenos respecto al testigo (Figura 9).

Figura 8. Peso fresco (g) de raíz respecto a los sustratos



Fuente: elaboración propia, 2021.

Figura 9. Peso fresco (g) de raíz en relación con los patógenos

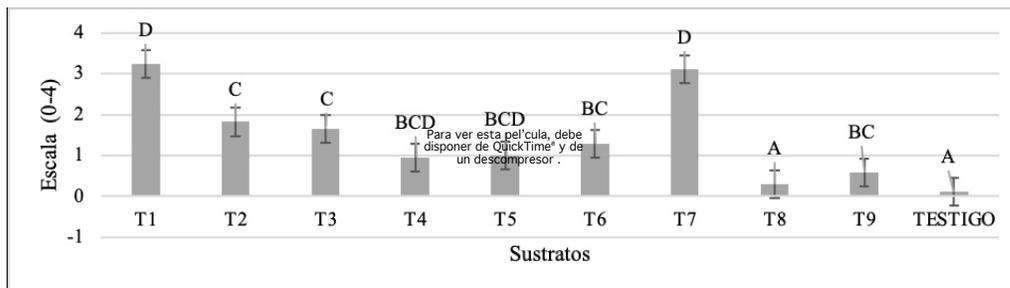


Fuente: elaboración propia, 2021.

Severidad. Se observó que la severidad en el testigo fue menor a 1 con los tratamientos que fueron estadísticamente iguales o menores a 1 (tratamientos 8, 9, 4 y 5) (Figura 10). Por otro lado, en lo

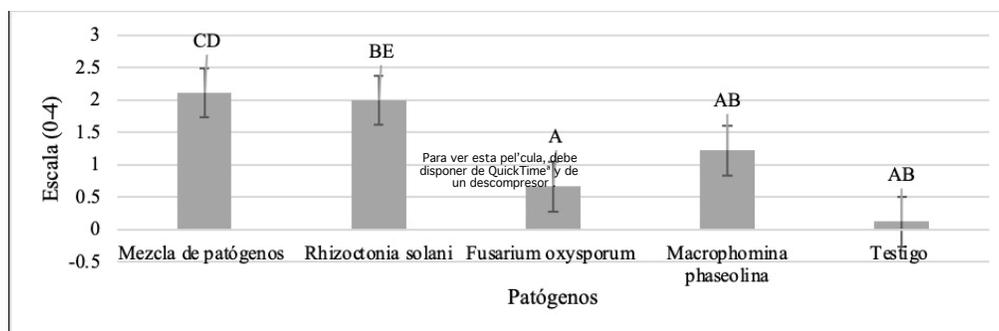
que conlleva a los patógenos, de igual manera los valores se repitieron con valores menores a 1 en el caso del testigo, coincidiendo con el tratamiento de *F. oxysporum* (Figura 11).

Figura 10. Escala de severidad expresada con valores de 0-4 respecto a los sustratos



Fuente: elaboración propia, 2021.

Figura 11. Escala de severidad expresada con valores de 0-4 en relación con los patógenos



Fuente: elaboración propia, 2021.

DISCUSIONES

El grado de inhibición observado en los aislados de los patógenos recolectados en los municipios de Guasave, Ahome y El Fuerte, tanto de *F. oxysporum* como *M. phaseolina*, fue entre 70 % y 82 %, ubicándose en los grados 1 y 2 de la escala propuesta por Bell *et al.* (1982), con un crecimiento micelial de 8.0 mm diarios, coincidiendo totalmente con lo descrito por Guevara *et al.* (2016) en Río Grande, Brasil, evaluando el alto grado de inhibición de *Trichoderma* realizado en confrontación *in vitro* de 70 % frente a *F. oxysporum*, así como una alta eficiencia protectora de plantas con 90 %, ejerciendo como biocontrolador del mismo.

Estudios realizados en China y Taiwán reportan un alto porcentaje de inhibición del hongo del género *T. asperellum*, el cual ha presentado un rendimiento de 65 %, tanto *in vitro* como *in planta* de inhibición contra patógenos de suelo, como *Fusarium verticillioides*; asimismo, ha desarrollado el fortalecimiento de plantas, además de producir celulasas, quitinasas, ácido indolacético, proteasas y sideróforos, añadiendo significativamente el crecimiento de absorción de nutrientes, principalmente de fósforo, potasio, magnesio y zinc (Tzu *et al.*, 2018; Veenstra, Suhail, & Murray, 2019). López *et al.* (2015) reportaron la presencia de tres aislados (*T. asperellum*) nativos como antagonistas de *Phymatotrichopsis omnivora*, agente causal de la pudrición texana; encontraron una capacidad antagónica de entre 61.4 % y 90.1 %, con una tasa micelial diaria de 2.23 mm. El grado de inhibición observado en los aislados de los patógenos recolectados en los municipios de Guasave, Ahome y El Fuerte, tanto de *F. oxysporum* como *M. phaseolina*, mostraron un grado de inhibición de entre 70 % y 82 %, ubicándose en los grados

1 y 2 de la escala propuesta por Bell *et al.* (1982), con un crecimiento micelial de 8.0 mm diarios. En Colombia se han desarrollado estudios presentados por Cubillos, Páez y Mejía (2011), impactando en 30 % de pérdidas de plantas de maracuyá, que son atacadas por un complejo de hongos de suelo como consecuencia de la muerte de unidades productivas, causadas por la enfermedad de secadera o marchitez vascular. A su vez, en México también se han presentado pérdidas hasta de 50 % en el cultivo de *P. ixocarpha*, principalmente por *F. oxysporum*, *M. phaseolina*, *R. solani*, *Pythium*, *Phytophthora*, entre otros (Apodaca *et al.*, 2008), de los cuales *P. ixocarpha* se ha visto afectado por un complejo de hongos (específicamente *F. oxysporum*), ocasionando amarillamiento e, incluso, la muerte de la planta, lo que disminuye drásticamente el rendimiento del cultivo (Apodaca *et al.*, 2008; Miranda *et al.*, 2015; López *et al.*, 2019), por lo que se propone el uso de sustratos que contengan *T. asperellum* más suelo aluvión y lombricomposta de ganado ovino, a diferencia de los patógenos donde no se presentó un valor mayor, tanto *in vitro* como *in planta* (*R. solani* y mezcla de patógenos), de acuerdo con los datos estadísticos.

CONCLUSIONES

En cultivos duales *in vitro*, se presentaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, mostrando mayor inhibición en todos los aislados de *F. oxysporum* y uno de *M. phaseolina* (M-30). La mezcla de *T. asperellum* más lombricomposta de ganado ovino más suelo aluvión, es una buena medida de control biológico para el manejo del complejo de hongos de suelo, por lo que se considera ser aplicado en un manejo integrado como mejor estrategia

de control en el desarrollo de las primeras etapas fenológicas de la planta bajo condiciones controladas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel-Fattah, G. M., & Shabana, Y. M. (2010). Efficacy of the Arbuscular Mycorrhizal Fungus *Glomus clarum* in Protection of Cowpea Plants against Root Rot Pathogen *Rhizoctonia solani*. *J. Plant Dis. Prot.*, 109(2), 207-215. <https://www.jstor.org/stable/43216197>
- Apodaca, S. M. A. (2013). Enfermedades de tallo y de la raíz (secadera). En: Fundación Produce Sinaloa, A. C. Memoria de la Jornada de Tecnología de Producción de Tomatillo. Culiacán, Sinaloa, México, pp. 7-18. <https://pdfs.semanticscholar.org/5237/cce3f1fcf4fa60d5ff1e02ea560734358532.pdf>
- Apodaca, S. M. A., Barreras, S. M. A., Cortez, M. E., & Quintero, B. J. A. (2008). Enfermedades del tomate de cáscara en Sinaloa. F. Téc., 31. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias/Centro de Investigación Regional del Noreste/Campo Experimental Valle del Fuerte. Los Mochis, Sinaloa, México. <https://pdfs.semanticscholar.org/5237/cce3f1fcf4fa60d5ff1e02ea560734358532.pdf>
- Armando, N. G., Marfetán, J. A., & Folgarait, P. J. (2017). *Trichoderma* Species Associated with Acromyrmexant Nests from Argentina and First Report of *Trichoderma* Lentiforme for the Country. *J. Darwiniana*, 5(1), 72-82. <https://doi.org/10.14522/darwiniana.2017.51.724>
- Baker, K., & Cock, R. J. (1974). *Control biológico de patógenos vegetales* (1.ª ed). W. H. Freeman and Company. <https://doi.org/10.1007/BF02825358>
- Bell, D. K., Well, H. D., & Markham, C. R. (1982). *In vitro* Antagonism of *Trichoderma* Species against Six Fungal Plant Pathogens. *Phytopathology*, 72, 379-382. <https://doi.org/10.1094/Phyto-72-379>
- Carling, D. E., Pope, E. J., Brainard, K. A., & Carter, D. A. (1999). Characterization of Mycorrhizal Isolates of *Rhizoctonia solani* from an Orchid, Including AG-12, A New Anastomosis Group. *Phytopathology*, 89, 942-946. <https://apsjournals.apsnet.org/doi/pdf/10.1094/PHYTO.1999.89.10.942>
- Cruz, K. Y. P., Alayón, G. J. A., & Morón, R. A. (2017). Efecto de la fertilización orgánica y de síntesis química en tomate verde (*Physalis ixocarpa* Brot. *Ex Horn*) en Calakmul, Campeche (México). *Rev. Inv. Agropec.*, 21(2), 41-53. <http://ww.uco.mx/revaia/portal/pdf/2017/mayo/3.pdf>
- Cubillos, H. G. J., Páez, R. A., & Mejía, D. L. (2011). Evaluación de la capacidad biocontroladora de *Trichoderma harzianum* Rifai contra *Fusarium solani* (mart.) Sacc. Asociado al complejo "secadera" en maracuyá bajo condiciones de invernadero. *Rev. Fac. Nac. Agr.*, 64, 5821-5830. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472011000100008
- Duarte, L. Y., Lamz, P. A., & Martínez, C. B. (2017). *In vitro* Antagonism of *Trichoderma asperellum*. Samuels, Lieckfeldt, & Nirenberg Isolates against *Sclerotium rolfsii* Sacc. *Rev. Prot. Veg.*, 32(3), 1-11. <http://scielo.sld.cu/.../rpv03317.pdf>
- Franco, M. M. D., Requía, P. F., Ferreira, F. A. C., & Antonioli, Z. I. (2012). *Trichoderma* in Brazil: The Fungus and the Bioagent. *Rev. Cienc. Agr.*, 35, 274-288. <http://www.scielo.mec.pt/pdf/rca/v35n1/v35n1a26.pdf>
- Gato, C. Y. (2010). Métodos de conservación y formulación de *Trichoderma harzianum* Rifai. *Rev. Fitosan.*, 14(3), 189-195. <http://scielo.sld.cu/pdf/fit/v14n3/fit08310.pdf>
- González, C. J. G., Maruri, G. J. M., & González, A. A. (2005). Evaluación de diferentes concentraciones de *Trichoderma* spp. contra *Fusarium oxysporum*, agente causal de la pudrición de plántulas de papaya (*Carica papaya* L.) en Tuxpan, Veracruz, México. *Rev. UDO Agrícola*, 5(1), 45-57. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2221589>
- Guédez, C., Cañizalez, L., Castillo, C., & Olivar, R. (2012). Evaluación *in vitro* de aislamientos de *Trichoderma harzianum* para el control de *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium rolfsii* y *Fusarium oxysporum* en plantas de tomate. *Rev. Soc. Ven. Microbiol.*, 32, 44-49. <https://www.redalyc.org/pdf/1994/199424929012.pdf>
- Guevara, M. C. A. L., Córdova, R. L. M., García, L. J. W., & Vázquez, V. J. M. (2016). Antagonistic Effect of a *Trichoderma* spp. Strain over *Fusarium* sp in a Tomato Plant Rio Grande (*Solanum lycopersicum*). *Rev. Inv. Cult.*, 5, 64-68. <https://>

- www.redalyc.org/jatsRepo/5217/521753139008/html/index.html
- Guigón, L. C., & Guerrero, P. V. (2010). Molecular Identification of *Trichoderma* spp. Strains *in vitro* Growth Rate and Antagonism against Plant Pathogen Fungi. *J. M. Phytopatol.*, 28, 87-96. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20113190483>
- Gutiérrez AC, Tornesello GJ, Manfrino RG, Hipperdinger M, Falvo M, D'Alessandro C y López CCL. 2017. Organización y conservación de la colección de hongos patógenos y simbiontes de insectos y otros artrópodos del CEPAVE (CONICET-UNLP), La Plata, Argentina. *Revista Argentina de Microbiología* 49(2) 183-188.
- Johnson, L. F., & Carl, E. A. (1972). *Methods for Research on the Ecology of Soil-Borne Plant Pathogens*. Burgess Publishing Company. <http://doi.org/10.2136/sssaj1972.03615995003600040003x>
- Lenteren, J. C. V. (2012). The State of Commercial Augmentative Biological Control: Plenty of Natural Enemies, but a Frustrating Lack of Uptake. *Biocontrol*, 57, 1-20. <http://doi.org/10.1007/s10526-011-9395-1>
- Leslie, J. F., & Summerell, B. A. (2006). *The Fusarium Laboratory Manual* (1st ed.). Blackwell Publishing. www.blackwellprofessional.com
- López, O. C. A., Hernández, V. S., Velarde, F. S., Garzón, T. J. A., Ousmane, S., & Retes, M. J. E. (2019). Cross Pathogenicity of *Fusarium oxysporum* Isolated from Peppers. *Eur. J. Plant Pathol.*, 10, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s10658-019-01732-z>
- López, V. B. E., Armenta, B. A. D., Hernández, V. S., Apodaca, S. M. A., Samaniego, G. J. A., Leyva, M. K. Y., & Valdez, O. A. (2015). Selección *in vitro* e identificación de aislados de *Trichoderma* spp. y *Bacillus* spp. nativos para el control de *Phymatotrichopsis omnivora*. *Rev. Inf. Téc. Econ. Agr.*, 111(4), 310-325. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5286156>
- Magdaleno, V. J. J., Peña, L. A., Castro, B. R., Castillo, G. A. M., Galvis, S. A., Ramírez, P. F., & Becerra, L. P. A. (2006). Efecto de tres sustratos y dos colores de plástico en el desarrollo de plántulas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Rev. Chap. Serie Hortic.*, 12, 153-158. <https://www.redalyc.org/pdf/609/60912204.pdf>
- Martínez, B., Infante, D., & Reyes, Y. (2013). *Trichoderma* spp. y su función en el control de plagas en los cultivos. *Rev. Prot. Veg.*, 28, 1-11. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1010-27522013000100001
- Martínez, H. A., & Laurentin, H. (2012). Caracterización fenotípica y molecular de *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. proveniente de la zona de producción de ajonjolí en Venezuela. *Rev. Bioagr.*, 24, 187-196. <https://www.redalyc.org/pdf/857/85724919006.pdf>
- Miranda, A. Y. E., Peña, L. A., Magaña, J. N., Grajales, P. M., & Leyva, M. S. G. (2015). Estudio de la secadera en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.). Campo experimental del Instituto de Horticultura y Universidad Autónoma de Chapingo. https://www.researchgate.net/profile/Natanael_Magana-Lira/publication/284733236_Estudio_de_la_secadera_en_tomate_de_cascara_Physalis_ixocarpa_Brot_ex_Horm/links/565f4ac108ae1ef92985341d.pdf
- Olivares, C. M. A., Hernández, R. A., Vences, C. C., Jáquez, B. J. L., & Ojeda, B. D. (2012). Lombri-composta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelos. *Rev. Univ. Cienc.*, 28, 27-37. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0186-29792012000100003
- Panizo, M. M., Reviákina, V., Montes, W., & González, G. (2005). Mantenimiento y preservación de hongos en agua destilada y aceite mineral. *Rev. Soc. Ven. Microbiol.*, 25, 35-40. <https://www.redalyc.org/pdf/1994/199416547007.pdf>
- Peña, L. A., Molina, G. J. D., Cervantes, S. T., Márquez, S. F., Sahagún, C. J., & Ortiz, C. J. (1998). Heterosis intervarietal en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Rev. Chapingo Serie Hortic.*, 4(1), 31-37. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rchsh/v16n1/v16n1a8.pdf>
- Peña, L. A., Ponce, V. J. J., Sánchez, F. S., & Magaña, L. N. (2014). Agronomic Performance of Husk Tomato Varieties under Greenhouse and Open Field Conditions. *Rev. Fitot. Méx.*, 37(4), 381-391. <http://www.revistafitotecniamexicana>
- Retana, K., Ramírez, C. J. A., Castro, O., & Blanco, M. M. (2017). Morphological and Molecular Characterization of *Fusarium oxysporum* f. spp. Apii Associated to Yellow Wilt on Celery in Costa Rica. *Rev. Minist. Agric. Gan.*, 42, 282-285. <https://doi.org/10.15517/rac.v42i1.32199>
- Rhaim, A. I. R. (2014). Isolation of *Trichoderma* and Evaluation of their Antagonistic Potential

- against *Alternaria porri*. *J. Phytopathology*, 162, 567-574. <https://doi.org/10.1111/jph.12228>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa) y Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (2018). Cultivo de tomate verde. Siembra 2018. Ciclo otoño-invierno. Recuperado en abril de 2019, de <http://infosiap.siap.gob.mx/opt/agricultura/intension/Intenci%C3%B3n%20de%20siembraOI%202018porcultivo.pdf>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (Sader) (2019). Avance de siembras y cosechas. Resumen por cultivo. Recuperado en abril de 2019, de http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenDelegacion.do
- Serrano, C. L., & Galindo, F. E. (2007). Control de organismos fitopatógenos: un reto multidisciplinario. *Rev. Cienc.*, 292, 77-88. <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/historica/article/view/2812>
- Tzu, L. I., Gwang, H. S., Ming, H. Y., & Hua, H. C. H. (2018). Effects of *Trichoderma asperellum* on Nutrient Uptake and *Fusarium* Wilt of Tomato. *Rev. Elsev.*, 110, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.03.021>
- Vázquez, L. A., Tlapal, B. B., Yáñez, M. M. J., Pérez, P. R., & Quintos, E. M. (2009). Etiology of Pepper Wilt Disease of "Chile de Agua" (*Capsicum annuum* L.) in Oaxaca, Mexico. *Rev. Fitot. Méx.*, 32(2), 127-134. <https://ipn.elsevierpure.com/en/publications/etiologia-of-pepper-wilt-disease-of-chile-de-agua-capsicum-annuum-veenstra-a-suhail-r-m-murray-s-l-2019>
- Veenstra, A., Suhail, R. M., & Murray, S. L. (2019). *Trichoderma asperellum* Isolated from African Maize Seed Directly Inhibits *Fusarium verticillioides* Growth *in vitro*. *Eur. J. Plant. Pathol.*, 153, 279-283. <https://doi.org/10.1007/s10658-018-1530-8>

SÍNTESIS DE INFORMACIÓN

Diversidad, ecología y uso potencial de líquenes epífitos de Chihuahua

*Zuñiga-González, R. A.,^{*1} Álvarez-Barajas, I. L.,² Corral-Avitia, A. Y.,¹ Flores-Margez, J. P.,¹ Enríquez-Anchondo, I. D.,¹ Quiñónez-Martínez M.¹*

Recibido: 23 de agosto de 2021

Segunda revisión: 30 de septiembre

Aceptado: 4 de octubre de 2021

RESUMEN

Los líquenes son organismos que debido a su estrecha relación con el hábitat y sustrato en que se desarrollan, cumplen un papel importante en los procesos ecológicos. Poseen importantes aplicaciones en el ámbito de la medicina tradicional terapéutica o espiritual, industria química y textil. En el estado de Chihuahua se desarrolla una gran riqueza de especies poco conocidas. Por ello, en este trabajo se realizó una revisión de la riqueza, ecología y uso potencial de estos líquenes, así como su relación con los ecosistemas forestales, de gran relevancia para incrementar las investigaciones de conservación, manejo forestal y uso sustentable.

Palabras clave: Epífito, talo, ecosistemas forestales, conservación.

ABSTRACT

Lichens are organisms that due to their close relationship with the habitat and substrate in which they grow, play an important role in ecological processes. Lichens have important applications in the field of traditional therapeutic or spiritual medicine, as well as for the chemical and textile industry. In the state of Chihuahua, there is a great diversity and richness of lichens, and many species are little known. In this study a review of the richness, ecology, and potential use of these lichens, as well as their relationship with forest ecosystems was made. Lichens are of great relevance to increase actions focused on conservation research, forest management and sustainability.

Keywords: Epiphyte, thallus, forest ecosystems, conservation.

1 Instituto de Ciencias Biomédicas – Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

2 Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias – Universidad de Guadalajara en Zapopan, Jalisco.

* Autor para correspondencia: Biól. Rocío Alejandra Zuñiga González; (+52) 656-1448172; al194596@alumnos.uacj.mx

INTRODUCCIÓN

Actualmente el conocimiento de la diversidad de líquenes en el estado de Chihuahua es escaso, a pesar de tener una alta capacidad de desarrollo en diferentes tipos de sustratos y comunidades vegetales. Los líquenes son organismos simbióticos mutualistas estables y ecológicamente obligados entre un hongo (perteneciente al Reino Fungi) y un conjunto de organismos fotosintéticos, estos pueden ser algas (pertenecientes al Reino Plantae) o cianobacterias (pertenecientes al Dominio Bacteria) (Kosanic & Rankovic, 2019; Chaparro-de Valencia & Aguirre-Ceballos, 2002; Honegger, 2001). Los líquenes se han definido como un ecosistema auto-sustentable, debido a que proporcionan un microhábitat para numerosos microorganismos eucariotas y procariotas, que desempeñan un papel importante en las redes tróficas (Muggia & Grube, 2018; Grube & Hawksworth, 2007; Cardinale, Puglia, & Grube, 2006 y Liba *et al.*, 2006). El estado de Chihuahua contiene la mayor superficie forestal en el país, con 5 millones de hectáreas de bosques (CONABIO, 2013), que presentan un hábitat ideal para el desarrollo de líquenes epífitos.

Debido a que los líquenes poseen características importantes que permiten utilizarlo como indicador ecológico, como: distribución cosmopolita, poca a escasa migración, ciclo de vida largo y sensibilidad a los contaminantes atmosféricos (Bosch-Roig, Barca, Mirocle-Crisci & Lalli, 2017). Se han aplicado como bioindicadores en áreas forestales expuestas a la pérdida, fragmentación y degradación (Vondrák *et al.*, 2019). El presente trabajo contribuye al conocimiento de la diversidad de líquenes en el estado de Chihuahua y destaca su riqueza, ecología y uso potencial de líquenes y su relación con los ecosistemas forestales.

Diversidad y taxonomía de líquenes

La morfología y estructura de cada líquen está determinada casi por completo por la información genética del hongo. Por ello, el nombre que se le asigna al líquen es del hongo que compone esta simbiosis (Brodo, Duran & Sharnoff, 2001). Los líquenes se clasifican dentro del reino Fungi, con más del 98% de este diverso grupo dentro del phyla Ascomycota y el resto dentro del phyla Basidiomycota. Alrededor de 40 géneros de algas y cianobacterias han sido reportados como fotobiontes, de los cuales 25 géneros son de algas verdes (fotobiontes), algunas

doradas, un género de algas pardas y 12 géneros de cianobacterias (cianobiontes) (Nash III, 2008; Barreno-Rodríguez & Pérez-Ortega, 2003; Brodo, Durán-Sharnoff & Sharnoff, 2001). El tercer componente es una levadura de la división Basidiomycota, que se encuentran incrustadas en la corteza de varias especies de macrolíquenes (Spribille *et al.*, 2016).

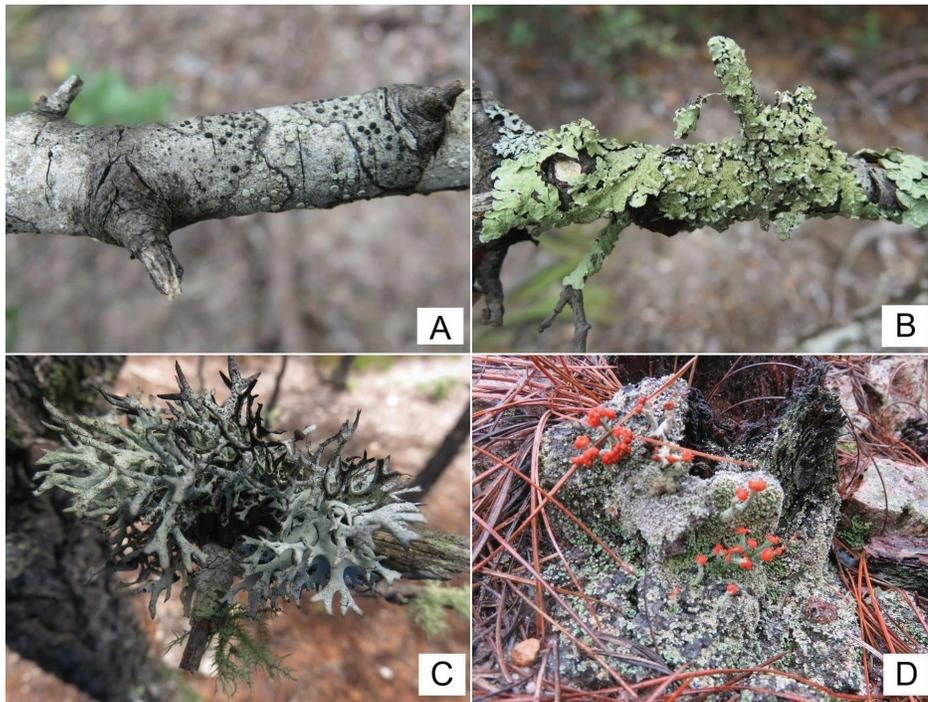
Los líquenes han sido exitosos y capaces de habitar ecosistemas desérticos, tropicales y fríos, se encuentran en alrededor del 8% de los ecosistemas terrestres (Kirk, Cannon, Minter & Stalpers, 2008). En México los estudios acerca de líquenes son escasos, el último conteo de las especies presentes fue realizado por Herrera-Campos *et al.*, (2014). En este trabajo se reportan, alrededor de 2,833 taxas, distribuidos en 2,722 especies y 111 infraespecíficas (18 subespecies, 68 variedades y 25 familias), que corresponden a dos divisiones, dos subdivisiones, seis clases, 21 órdenes, 84 familias y 364 géneros. La clase Lecanoromycetes presenta la mayor diversidad y se encuentran alrededor del 96% de los hongos liquenizados. Los géneros representativos son *Lecanora*, *Caloplaca* y *Graphis*, rebasando las 100 especies registradas. De la familia Parmeliaceae, el género *Usnea*, *Xanthoparmelia* y *Parmotrema*. De la familia Cladoniaceae, el género *Cladonia* y de la familia Physciaceae, el género *Buellia*, *Physcia* y *Rinodina*. Así como, algunas especies de cianolíquenes de los géneros *Collema* y *Sticta*.

Los estados de México que registran el mayor número de especies son Baja California y Veracruz, seguidos por Baja California Sur, Sonora y Chihuahua, con más de 500 registros cada uno (Herrera-Campos *et al.*, 2014). En este último se han reportado alrededor de 37 especies de líquenes presentes en la Sierra Tarahumara, las familias más abundantes son: Parmeliaceae, Cladoniaceae, Lobariaceae y Teloschistaceae. Es común encontrar algunas especies de los géneros *Alectoria*, *Flavoparmelia* y *Usnea* como artesanías en venta por las comunidades rarámuris (Chacón-Ramos, Quiñónez-Martínez, & Álvarez-Barajas, 2014)

Características morfológicas

La forma de crecimiento, también conocido como talo o biotipo es el cuerpo vegetativo y asimilativo compuesto por el micobionte y el fotobionte. Los principales talos en cuanto al tipo de crecimiento se dividen en costrosos, foliosos o fruticosos (Figura 1), sin embargo, existen diversas formas interme-

Figura 1. Principales tipos de talo que presentan los líquenes:
A) Talo costroso; B) Talo folioso; C) Talo fruticoso; y D) Talo compuesto o heteromórfico



Fuente: elaboración propia con ayuda del programa Image J.

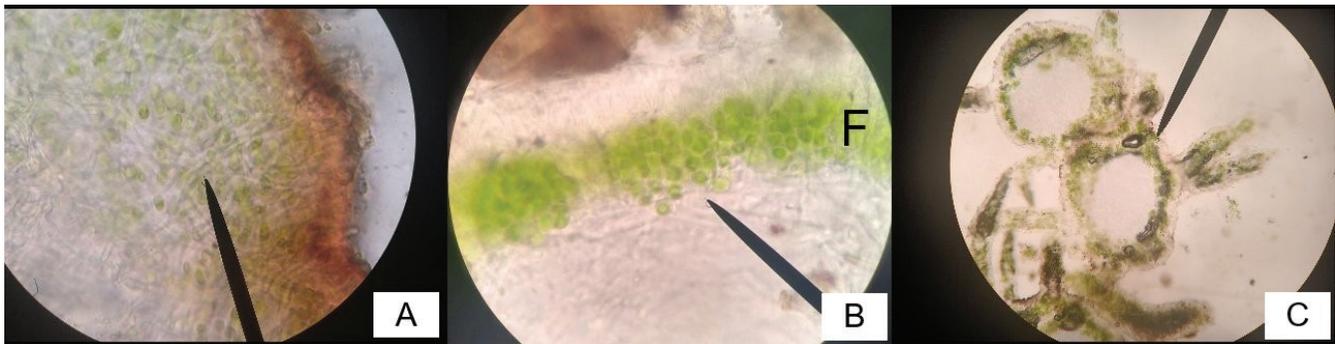
dias (Nash III, Ryan, Gries, & Bungartz, 2002). El talo costroso, similar a una corteza, está en íntimo contacto con el sustrato, generalmente carecen o no es posible distinguir una superficie inferior y estructuras asociadas y tolera hábitats extremos como la roca desnuda y expuesta. La variación que presenta es de tipo de talo es endosustratal, leproso, continuo, rimoso, areolado, bultado, lobado y escamoso. El talo folioso, similar a una hoja, están dorsiventralmente orientado con una capa superior e inferior diferenciada, generalmente aplanados y comúnmente unidos por ricinas u otros apéndices al sustrato en que se encuentran. Poseen lóbulos que pueden estar ramificados, este puede variar desde un talo lacinado o umbilical. Los líquenes fruticosos, similares a arbustos o barbas, pueden estar dispuestos dorsiventralmente, pero la mayoría tienen una simetría radial. Estos pueden ser tupidos, arbustivos, arbóreos o con forma de barba. Usualmente están unidos al sustrato por un sujetador. La variación que presentan son talos erectos, colgantes, cespitosos, decumbentes y subcolgante. Asimismo, muchos líquenes combinan más de una forma de crecimiento, conocido como talo compuesto o hete-

romórfico. Conforman un talo primario granular o escamoso basal, suele extenderse horizontalmente sobre el sustrato dando lugar al talo secundario vertical fruticoso (Nash III, 2008; Chaparro-de Valencia & Aguirre-Ceballos, 2002; Nash III, Ryan, Gries, & Bungartz, 2002; Brodo, Duran-Sharnoff, & Sharnoff, 2001).

La morfología interna del talo varía de talos altamente diferenciados con varias capas de hifas a las que no existe una diferenciación (Figura 2). En el talo homómero el fotobionte está uniformemente disperso con respecto a las hifas del micobionte sin conformar un estrato definido. Este tipo de talo generalmente está formado por cianobacterias, permite absorber agua rápidamente y favorece en la fijación de nitrógeno. Por otro lado, el talo heterómero, están estratificados en donde se diferencia principalmente la capa del fotobionte, una o más capas corticales y una médula (Nash III, 2008; Barreno-Rodríguez & Pérez-Ortega, 2003; Nash III, Ryan, Gries & Bungartz, 2002).

Anatómicamente, existen una serie de estructuras y modificaciones que influyen en el desarrollo de estas especies (Figura 3). Como lo son cilios,

Figura 2. Morfología interna del talo liquenizado en corte transversal:
A) Talo homómero; B) Talo heterómero (F = capa algal); y C) Corte transversal en talo fruticoso



Fuente: elaboración propia con ayuda del programa Image J.

pruina, tomento, maculas, pseudocifelas, cifelas y cefalodios. Así como también, las estructuras de reproducción que pueden ser asexuales como sorelios, isidios, esquizidios, filidios y picnidios. O bien, estructuras de reproducción sexual que pueden ser apotecios o peritecios, que contienen las ascas y estas a su vez, las ascosporas. Las variedades en cuanto a forma, tamaño, color y complejidad de estas estructuras son utilizadas para la clasificación e identificación de familias, géneros e incluso especies (Nash III, 2008; Nash III, Ryan, Gries & Bungartz, 2002; Brodo, Duran-Sharnoff, & Sharnoff, 2001).

Fisiología y ecología

En la simbiosis, el fotobionte requiere de la protección contra la desecación y un ambiente idóneo que le provee el micobionte, a través de la estratificación interna. Esto consiste en un sistema de hifas polimórficas, en donde se diferencian paredes hidrofílicas para el paso de agua y otras hidrofóbicas, que conforman espacios para el transporte de gases (Honegger, 2001). El micobionte requiere de la adquisición fija de carbono que provienen del fotobionte. El fotobionte puede obtener carbono debido a que puede efectuar la fotosíntesis. Esto permite tomar el dióxido de carbono (CO₂) presente en el aire, así como agua y en presencia de la luz solar, para producir carbohidratos. Estos carbohidratos son absorbidos por el micobionte en forma de azúcares, alcoholes o glicoles en caso de que su asociación sea con ficobiontes, o bien, glucosa en caso de que sea con cianobiontes (Eisenreich, Knispel, & Beck, 2011; Nash III, 2008; Brodo, Duran-Sharnoff, & Sharnoff, 2001; Purvis, 2000). Asimismo, las ciano-

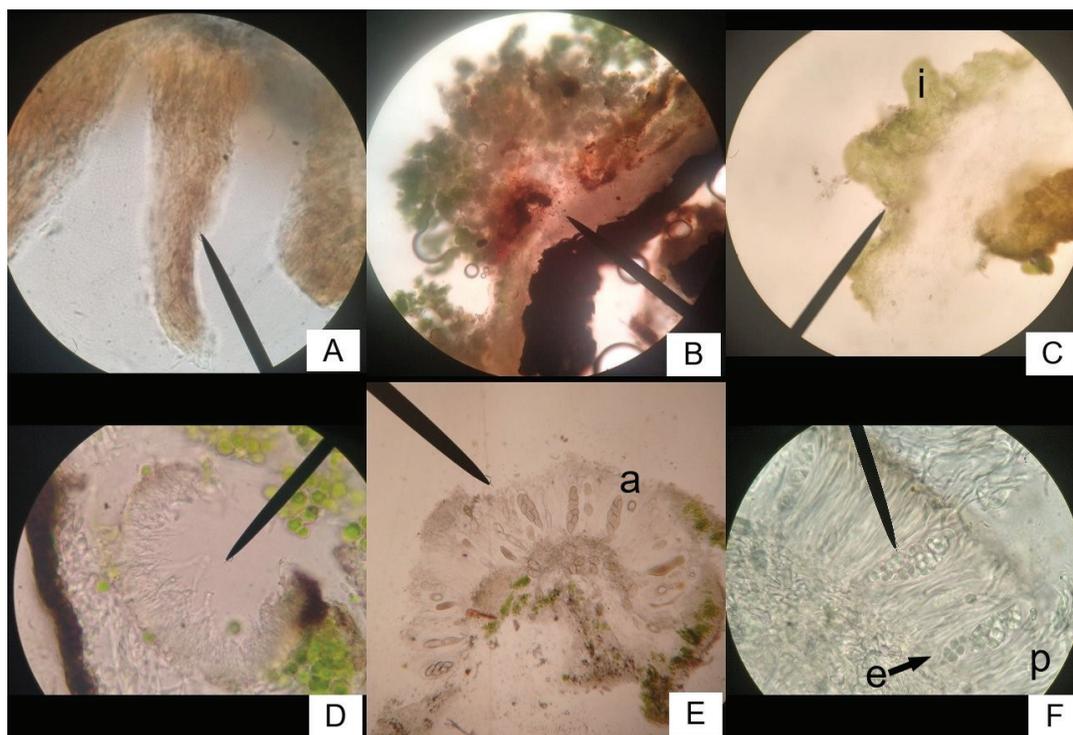
bacterias pueden convertir el nitrógeno del medio en iones amonio, para la síntesis de proteínas del líquen (Purvis, 2000). Posterior a la fotosíntesis, una parte significativa de los carbohidratos producidos son utilizados para la respiración. Con la función de fotoasimilar las sustancias para el crecimiento, mantenimiento y generar energía para los procesos de transporte y asimilación de nutrientes (Nash III, 2008; Brodo, Duran-Sharnoff, & Sharnoff, 2001). La amplitud de hábitats y regiones en que se desarrollan estos organismos se debe a los procesos fisiológicos que ejercen, su eficiencia depende del ambiente en que se encuentren. En el cuadro I, se muestran los principales factores ambientales que modifican algunos de los procesos fisiológicos que llevan a cabo los líquenes.

Los líquenes carecen de una cutícula protectora, a diferencia de las plantas, que ayude a conservar el agua. Como son organismos poiquilohídricos, tienen bajo control del contenido del agua, por lo que dependen de las condiciones ambientales (Proctor & Tuba, 2002; Purvis, 2000). Esta característica también le permite absorber la humedad directamente del aire y minerales disueltos. Sin embargo, algunos sulfatos y compuestos metálicos son tóxicos y pueden dañar y matar al fotobionte y por tanto a todo el organismo (Boonpeng *et al.*, 2017; Nash III, 2008; Brodo, Duran-Sharnoff, & Sharnoff, 2001).

La resistencia de los líquenes a las condiciones extremas se debe a su capacidad de pasar de un estado activo a un estado latente a través de la rápida deshidratación del talo (ANPA, 2001). Para sobrevivir al estrés, los líquenes deben poder reducir la formación de especies reactivas de oxígeno (ROS, por sus siglas en inglés) o de expulsarlos una vez

Figura 3. Microscopia de algunas estructuras liquénicas:

A) Ricina no ramificada; B) Soredio; C) Isidio (i = isidio); D) Picnidio; E) Apotecio (a = asca con ascosporas); y F) Ascosporas (e = ascosporas / p = paráfisis)



Fuente: elaboración propia con ayuda del programa Image J.

Cuadro I. Principales factores ambientales que influyen en los procesos fisiológicos de los líquenes

Procesos fisiológicos	Factores ambientales	Niveles óptimos
Fotosíntesis	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura • Nivel de humedad • Disponibilidad de luz Temperatura: <ul style="list-style-type: none"> • Nivel de humedad 	En líquenes de zonas antárticas (0-10 °C) En líquenes de zonas templadas (10-15 °C) Humedad: 50-70 % de saturación en el talo
Respiración	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura • Nivel de humedad 	Temperatura: En la mayoría, de 15-30 °C Humedad: Total o casi totalmente saturado
Intercambio de CO ₂	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel de humedad • Disponibilidad de luz • Temperatura 	
Fijación de N	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel de humedad • Temperatura • Disponibilidad de luz • Presión parcial de oxígeno • Limitación de nutrientes • pH 	

Fuente: Lidén et al. (2010); Nash III (2008); Brodo et al. (2001).

formados. Estos pueden causar un daño considerable a las células al atacar ácidos nucleicos, lípidos y proteínas (Nash III, 2008; Brodo, Duran-Sharnoff, & Sharnoff, 2001).

Alrededor de 700 metabolitos secundarios, la mayor parte exclusivos de los líquenes, son resultado de subproductos químicos del micobionte y se depositan en la superficie de las hifas. La mayoría de estas sustancias son compuestos aromáticos, como dépsidos, depsidones y carotenoides. Estos productos suelen ser insolubles en agua y sólo se pueden extraer con disolventes orgánicos (Calcott, Ackerley, Knight, Keyzers, & Owen, 2018; Nash III, 2008; Brodo, Duran-Sharnoff, & Sharnoff, 2001).

Los líquenes requieren de un sustrato en el cual desarrollarse (Figura 4), los más comunes son sobre piedras, rocas o canchales (rupícolas), solo o casi únicamente sobre roca (saxícolas), corteza de árboles o arbustos (cortícolas o epífitos), sobre musgos y hepáticas (muscícolas), e incluso, se han encontrado en el caparazón de tortugas y cuerpo de insectos, sobre otros líquenes, vidrio, metal, plástico y tela (Barreno-Rodríguez & Pérez-Ortega, 2003; Brodo, Duran-Sharnoff, & Sharnoff, 2001). Algunas especies pueden crecer de manera indiferente de los diferentes sustratos, mientras que otras tienen preferencia a un sustrato específico (ANPA, 2001), lo cual indica la estrecha relación que existe entre ambos.

La textura (rugosa o lisa, estable o inestable), capacidad de absorber y retener la humedad y química (compuestos orgánicos, minerales y acidez) del sustrato, es la característica que definirá el desarrollo de las diferentes especies de líquenes. Por ejemplo, en la corteza de coníferas con respecto a los árboles de hoja caduca, se puede diferenciar

en su química por su contenido de resinas orgánicas, menor contenido de nutrientes inorgánicos y tiende a ser bastante ácido. Asimismo, las copas tienden a ser densas, por lo que el paso de luz está más limitado, en comparación a los árboles de hoja caduca, que no poseen hojas hasta seis meses del año (Brodo, Duran-Sharnoff, & Sharnoff, 2001).

Uso potencial

Los líquenes han conformado parte de la dieta de animales y el hombre (Illana-Esteban, 2009). Aunque el valor nutricional es bastante limitado en el hombre debido a la ausencia de flora bacteriana que permita descomponer los complejos carbohidratos que conforman el líquen (Brodo, Duran-Sharnoff & Sharnoff, 2001). Por otro lado, líquenes fibrosos del género *Alecoria* y *Bryoria* han sido incorporados en la ropa de varias culturas. Durante miles de años se utilizaron como fuente de tintes y colorantes, con la aplicación de diferentes técnicas para la obtención de colores como amarillo, rojo, marrón y violeta, aunque actualmente esta aplicación ya no representa tanta importancia (Rather, Jameel, Ganie, & Bhat, 2018; Barreno-Rodríguez & Pérez-Ortega, 2003; Brodo, Duran-Sharnoff & Sharnoff, 2001).

También, los líquenes se han utilizado como medicina tradicional terapéutica o espiritual, debido a la amplia gama de metabolitos secundarios que poseen (Devkota, Chaudhary, Werth & Sheidegger, 2017; Illana-Esteban, 2012). Entre los compuestos con efecto antibiótico están: el ácido úsnico, el ácido protoliqueterínico y una variedad de derivados del orcinol, es significativo para bacterias gram-positivas, pero no eficientes en gam-negativas (Gayathri & Swamy, 2012; Nash III,

**Figura 4. Hábito de desarrollo de algunas especies de líquenes:
A) Saxícola; B) Epífito; y C) Muscícola**



Fuente: elaboración propia con ayuda del programa Image J.

2008). También, a este grupo se le ha atribuido una actividad antitumoral, por ejemplo, el ácido úsnico tiene un bajo nivel de actividad contra el carcinoma de pulmón y tiene actividad antifúngica (Kyung-Hwa, *et al.*, 2017; Nash III, 2008; Boustie & Grube, 2005). Algunas especies como por ejemplo *Letharia vulpina* tiene efectos tóxicos derivado del ácido pulvínico que es altamente venenoso (Rankovic & Kosanic, 2015; Nash III, 2008). En el hombre, algunas especies de líquenes epífitos como *Alectoria*, *Evernia* y *Usnea* pueden causar dermatitis de contacto, que es una reacción alérgica por una serie de sustancias líquénicas, que conforme aumenta la exposición a estas, más agudas se vuelven estas reacciones (Nash III, 2008).

Dentro de las aplicaciones más importantes ha sido en la industria del perfume, las especies más utilizadas son *Evernia prunastri* y *Pseudovernia furfurácea*. Por otro lado, estas se han aplicado en la liquenometría, técnica utilizada para estimar el tiempo de exposición de una superficie, como rocas, depósitos y yacimientos. Debido a que la mayoría de los líquenes crecen en forma concéntrica, se puede utilizar la tasa de crecimiento anual, para conocer los años en que ha estado presente basados en su diámetro (Garibotti & Villalba, 2007). En general, los organismos foliosos crecen de 0.5-5 mm por año, mientras que los organismos costrosos 0.1-0.2 mm anualmente. Esto depende de la especie y las condiciones del medio en que se desarrollan, disponibilidad de agua y temperatura (Lutzoni & Miadilikowska, 2009; Sancho, Allan, & Pintado, 2007; Benedict & Nash III, 1990).

Función ecológica

Los líquenes influyen ampliamente en el crecimiento y desarrollo de plantas, micro y macroorganismos que comparten el mismo ambiente, por lo que conforman redes tróficas complejas, que aumentan el flujo de energía y ciclo de minerales. Los líquenes son colonizadores de la roca desnuda y formadores de suelo, junto a otras algas, cianobacterias y briofitas. Las sustancias líquénicas provenientes del metabolismo secundario como dépsidos y depsonas, se pueden combinar con los minerales de la roca, lo que genera complejos metálicos y aceleran el proceso de meteorización (Nash III, 2008; Brodo, Duran-Sharnoff & Sharnoff, 2001). Algunos líquenes, en conjunto con algas, cianobacterias y briofitas, forman lo que se conoce como costras biológicas que se suelen encontrar en la capa más

superficial del suelo (Castillo-Moroy & Benítez, 2015; Castillo-Moroy *et al.*, 2011; Belnap & Gillette, 1998). Estas costras se encuentran principalmente en regiones en donde el agua y los nutrientes son factores limitantes para el desarrollo de la vegetación (Mendoza Aguilar, 2014). Esto hace que aumente la fertilidad mediante la fijación de nitrógeno y carbono (Belnap, 2002). También, contribuye a preservar los nutrientes (Castillo-Moroy *et al.*, 2011; Belnap, Phillips & Miller, 2004).

Los líquenes son conocidos como productores primarios, debido a que algunos animales los incluyen en su dieta, que puede mostrar interdependencia. Mamíferos como la ardilla, ciervo, alce, cabra, gacela, buey almizclero, oso polar, marmota, monos, entre otros, pueden incluirlos en su dieta, aunque más como un complemento de esta (Seaward, 2008; Barreno-Rodríguez & Pérez-Ortega, 2003). Además, el tipo de crecimiento de los líquenes sirve como hábitat y refugio para invertebrados y algunos vertebrados pequeños, en el que pueden sobrevivir por periodos prolongados, ya que los utilizan como camuflaje y mimetismo. Así como también algunas aves utilizan especies de líquenes fruticosos para anidación y camuflaje (Nash III, 2008; Brodo, Duran-Sharnoff & Sharnoff, 2001).

Aplicación en la contaminación ambiental y perturbaciones ecológicas

Los líquenes son reconocidos como organismos bioindicadores, debido a que son especies cosmopolitas, absorben nutrientes y contaminantes, naturaleza simbiótica, son relativamente longevos, proporcionan información de estados crónicos y no de variaciones puntuales del medio y son organismos perennes, por lo que pueden ser muestreados en cualquier época del año (Bosch-Roig, Barca, Mirocle-Crisci & Lalli, 2017; Hawksworth, Iturriaga & Crespo, 2005).

Debido a su capacidad para absorber rápidamente elementos químicos del aire y de la lluvia, son utilizados como sensores naturales del entorno. Existen algunas especies de líquenes que proporcionan un espectro muy amplio de las condiciones ambientales, tanto naturales como antropogénicas. Entre las actividades donde los líquenes pueden ser utilizados están la evaluación del impacto ambiental y monitoreo de perturbaciones ambientales, principalmente en donde se encuentra un gran número de contaminantes químicos (Brodo, Duran-Sharnoff & Sharnoff, 2001;

Fontecha & Burgaz, 2017). Ejemplo de algunos compuestos son el dióxido de azufre, un subproducto de la quema de combustible fósil; el ácido sulfúrico y nítrico, componentes de la lluvia ácida; fluoruros, ozono, hidrocarburos y metales como el cobre, el plomo y el zinc. Los líquenes más sensibles a la contaminación incluyen a especies fruticasas como *Usnea*, *Ramalina* y *Telochistes*, así como líquenes epífitos que poseen cianobiontes, como *Lobaria*, *Pannaria* y *Nephroma* (Brodo, Duran-Sharnoff & Sharnoff, 2001). Además, sus patrones de distribución están influenciados por el disturbio del hábitat (Kelleghan, Hayes, Everard & Curran, 2019; Pakeman, Brooker, O'Brien & Genney, 2019; Tripp, Lendemer & McCaln, 2019), fragmentación, deforestación, prácticas agrícolas, cambio de uso de suelo y se han utilizado ampliamente en la identificación y mapeo de sitios críticos de biodiversidad (Will-Wolf, Hawksworth, Mccune, Rosentreter & Sipman, 2011; Brodo, Duran-Sharnoff & Sharnoff, 2001).

Otra importante contribución de los líquenes se debe a la capacidad de bioacumulación de elementos como nitrógeno, fósforo y azufre, e incluso contaminantes orgánicos y metálicos (Boonpeng *et al.*, 2017). La filtración del nitrógeno en compuestos nitrogenados es significativa en ciertos ecosistemas como bosques maduros y bosques de coníferas (Nash III, 2008; Brodo, Duran-Sharnoff & Sharnoff, 2001).

Principales hábitats para líquenes en Chihuahua

La variedad de climas, topografía, historia geológica y ubicación geográfica en México han producido una variación en los ecosistemas que resguardan la abundancia y riqueza de flora y fauna (SEMARNAT, 2016). Parte integral de los ecosistemas terrestres, radica en los diferentes tipos de bosque, que albergan a más de las tres cuartas partes de la biodiversidad terrestre mundial (Rodríguez, 2019). En México, los grandes ecosistemas y tipos de vegetación ocupan una superficie de 151,483,194 ha, del cual, el 22% se encuentra cubierta por bosque de coníferas, bosque mixto y bosque de encino (Orozco-Hernández, Gutiérrez-Martínez & Delgado-Campos, 2009). Se estima que los bosques templados contienen cerca de 7,000 especies de plantas, alrededor del 50% especies de pinos y cerca del 33% especies de encinos (CONABIO, 2013). Su distribución está determinada principalmente por el gradiente altitudinal, la

influencia del clima (temperatura y precipitación) y las condiciones del suelo (Lebgue-Keleng, Soto-Cruz, Quintana-Martínez, Quiñonez-Martínez & Viramontes-Olivas, 2014).

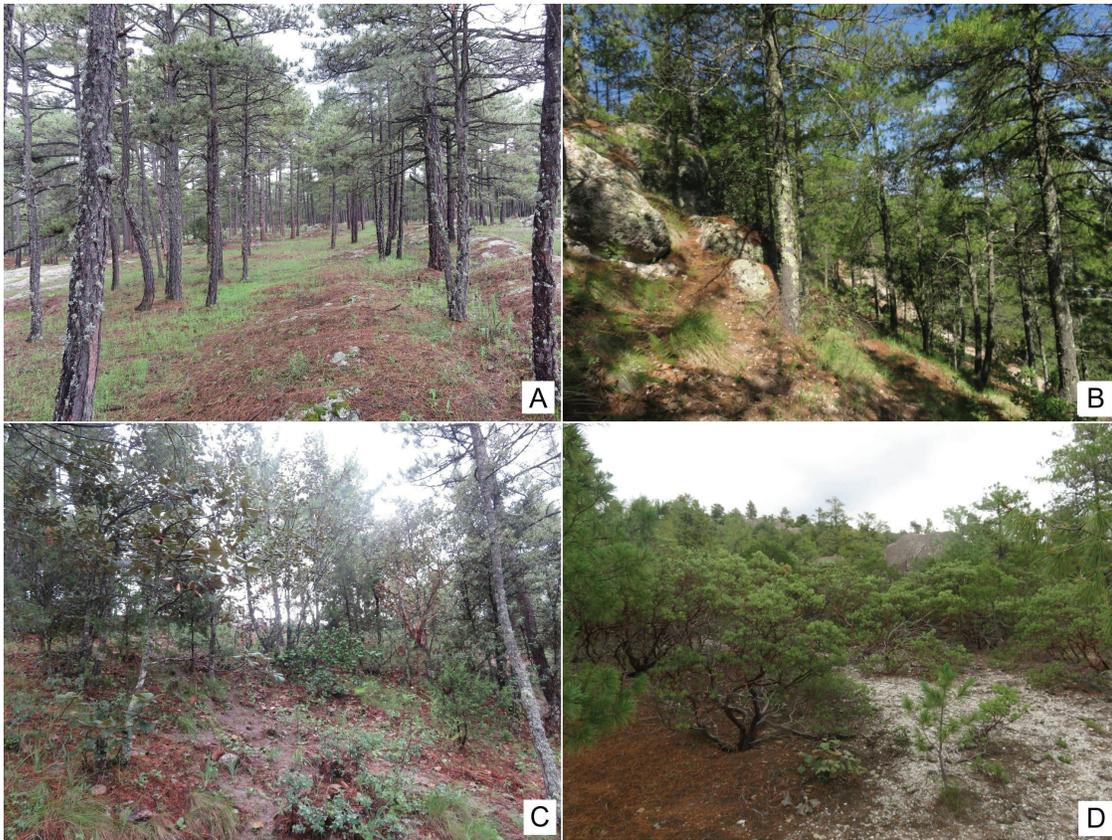
El estado de Chihuahua contiene la mayor superficie forestal en el país, con 5 millones de hectáreas de bosques (CONABIO, 2013). Los bosques templados cubren el 29% de la superficie estatal, ya que se encuentran en 40 de los 62 municipios (Lebgue-Keleng, Soto-Cruz, Quintana-Martínez, Quiñonez-Martínez & Viramontes-Olivas, 2014). Están integrados por diversas especies de pino y encino (Escárpita-Herrera, 2001) que se desarrollan en la Sierra Madre Occidental (SMO), (CONABIO, 2013). Predominan bosques de pino, de encino, mixtos de pino-encino y encino-pino (Reyes-Gómez & Núñez-López, 2014). A continuación, se describirán los principales tipos de bosque (Figura 5) que se desarrollan y que son de interés propio de este artículo.

Bosque de pino. Es una comunidad vegetal perennifolia, constituida principalmente por especies del género *Pinus* (Orozco-Hernández, Gutiérrez-Martínez & Delgado-Campos, 2009). Forman bosques de altura y densidad muy variables, pero de escasa diversidad en cuanto a especies dominantes del dosel. Se localizan en regiones con una temperatura media anual entre 6 y 28°C, así como altitudes entre 1,500 y 3,000 msnm (Lebgue-Keleng, Soto-Cruz, Quintana-Martínez, Quiñonez-Martínez & Viramontes-Olivas, 2014; Granados-Sánchez, López-Ríos & Hernández-García, 2007). En México las especies de *Pinus* poseen un mayor valor de aprovechamiento maderable (Granados-Sánchez, López-Ríos & Hernández-García, 2007).

Bosque de encino. Es una comunidad vegetal caducifolia, dominada por especies del género *Quercus* (Orozco-Hernández, Gutiérrez-Martínez & Delgado-Campos, 2009). Se distribuyen en forma de manchones o formando franjas laterales sobre las faldas de los cerros, cubriendo una amplia superficie (Lebgue-Keleng, Soto-Cruz, Quintana-Martínez, Quiñonez-Martínez & Viramontes-Olivas, 2014). Se encuentran en regiones con altitudes desde en nivel del mar hasta 3,100 m, aunque la mayoría entre 800 y 1,200 m (Granados-Sánchez, López-Ríos & Hernández-García, 2007).

Figura 5. Principales tipos de bosques en el estado de Chihuahua:

A) Bosque de pino; B) Bosque de pino-encino; C) Bosque de encino-pino; y D) Matorral de ericáceas



Fuente: elaboración propia con ayuda del programa Image J.

Bosques mixtos. Son comunidades mixtas de *Pinus* y *Quercus*. Se distribuyen en las montañas y sierras, en altitudes desde casi el nivel del mar hasta 3,100 m, con una temperatura media anual de 10 a 26°C y una precipitación de 600 y 1,200 mm (Granados-Sánchez, López-Ríos & Hernández-García, 2007). Tienen preferencia en cuanto al tipo de suelo, temperatura, humedad y exposición. Se ha reportado que la dominancia de estas especies está definida por el gradiente altitudinal. El bosque de encino-pino domina en los rangos más bajos sobre el nivel del mar, mientras que el bosque de pino-encino domina al ascender la altitud, aunque se encuentra antes de los 2,500 msnm, en donde se encuentra el bosque de pino (Orozco-Hernández, Gutiérrez-Martínez & Delgado-Campos, 2009).

Matorral de ericáceas. Se compone por plantas que pertenecen a la familia Ericaceae, estas especies son clasificadas como chaparral de acuerdo con INEGI (2005), principalmente por manzanita (*Arctostaphylos pungens*) que conforman una aso-

ciación con encinos bajos (*Quercus*) y otras especies arbustivas leñosas (Randell-Badillo, 2008). En general se encuentran en zonas de clima templado subhúmedo semicálidos, templados y semifríos, con grados de humedad semiáridos. La presencia de este tipo de vegetación arbustiva densa se asocia con el clima, pero el fuego puede determinar su transición (Challenger & Soberón, 2008; Randell-Badillo, 2008).

Problemática del hábitat de los líquenes

Los bosques poseen una extensa contribución ecológica, económica e incluso cultural. Su importancia ecológica radica en la conservación y formación de suelo, influyen en el clima al regular los niveles de gases invernadero, absorber el dióxido de carbono y liberar oxígeno. La densidad forestal favorece en la formación de microclimas y favorecen la captación de agua, permitiendo la formación de mantos freáticos y cuencas que actúan como reservorios de

agua dulce (Granados-Sánchez, López-Ríos & Hernández-García, 2007).

Estos ecosistemas proveen y son explotados principalmente por los recursos maderables que proveen. Ante ello, la organización Global Forest Watch (2018) estima que del 2001 al 2018, se han reducido alrededor de 361 millones de hectáreas de cobertura vegetal a nivel mundial. En México, durante este mismo periodo, alrededor de 3.67 millones de hectáreas. Dentro del cual, se ha perdido entre el 50-67% de la superficie original de bosques templados, siendo los ecosistemas menos conservados en el país (Orozco-Hernández, Gutiérrez-Martínez & Delgado-Campos, 2009).

La deforestación no sustentable y la fragmentación son los principales factores que conllevan a la pérdida forestal y modificación de la cobertura y uso de suelo. Donde la extracción de productos en áreas forestales es superior a la capacidad de regeneración natural (FAO, 2006). La segunda, como consecuencia de la deforestación, genera pequeñas superficies o manchones relativamente intactos e inmersos en usos de suelo diferente a la cobertura original (Semarnat, 2016).

A lo largo de los años, ha existido desinterés en ecosistemas de bosques en México, causando la pérdida parcial o permanente de las especies que se encuentran en estos ecosistemas (Sánchez, Vega, Peters & Monroy-Vilchis, 2003). Por ello, es necesario la elaboración de programas de manejo forestal, para identificar factores clave para la conservación, producción sostenible y restauración, como lo son el agua y suelo, la biodiversidad, la cobertura forestal y la dinámica y variación natural de los ecosistemas (Jardel-Peláez, 2015). Sin embargo, es un proceso complejo que representa un alto costo y limitación de recursos (Geneletti, Orsi, Lanni, & Newton, 2011; Sánchez, Illoldi, Linaje, Fuller, & Sarkar, 2008; Razola, Rey, de la Montaña, & Cayuela, 2006), por ello se ha implementado el uso de organismos que ejerzan una respuesta en su composición y diversidad ante las modificaciones o cambios del ecosistema en que se encuentran, denominados indicadores ecológicos (Eswaran, Beinroth & Virmani, 2000).

Relación de los líquenes epífitos en los bosques

Además de desempeñar un papel importante en el ecosistema, tanto físico como biológico, son sensores naturales del entorno cambiante (McCune, 2000).

Se han utilizado como sistema de alerta para otra biota, que posteriormente sufriría estrés o su extinción debido a la mala gestión forestal y agrícola, desertificación, urbanización, industrialización y problemas derivados de la sobrepoblación (Benítez, Aragón, González, & Prieto, 2018; McCune, 2000; Nascimbene & Marini, 2015; Argón, Martínez, & García, 2012). Asimismo, la modificación y fragmentación los hábitats naturales conlleva a la reducción de las poblaciones y diversidad de especies de líquenes. Ciertos líquenes responden a microclimas, sustrato y condiciones ecológicas determinadas, pudiéndose utilizar como indicadores de la continuidad ecológica (Brunialti *et al.*, 2020; Nash III, 2008; Brodo, Duran-Sharnoff, & Sharnoff, 2001).

Rasgos como el tipo de fotobionte, forma de crecimiento, estructura reproductiva y química están directamente relacionados con factores microclimáticos asociados con la estructura forestal (cobertura de doce y edad de los árboles) y factores abióticos como humedad, temperatura y disponibilidad de luz (Hurtado, Prieto, Aragón, Escudero, & Martínez, 2019; Li, Liu, & Li, 2013; Nash III, 2008; Marini, Nascimbene, & Nimis, 2011; Brodo, Duran-Sharnoff, & Sharnoff, 2001). Asimismo, las comunidades de líquenes epífitos pueden responder a los cambios estructurales del bosque relacionados con la cobertura del dosel y el diámetro de los árboles. Implementándose como indicadores complementarios del nivel de perturbación del bosque y como medida para gestionar los bosques (McCune, 2000).

Ciertos líquenes están restringidos a bosques que no han sido perturbados durante periodos muy largos. Los bosques viejos contribuyen a un amortiguamiento microclimático que proporciona un régimen de humedad uniforme no presentes en bosques jóvenes. Esta variedad de hábitats únicos y condiciones microclimáticas promueve una mayor diversidad de especies (Nash III, 2008; Brodo, Duran-Sharnoff, & Sharnoff, 2001). Debido a que algunos líquenes están restringidos a regiones geográficas o tipo de bosque específico, es necesario analizar las especies indicadores para los diferentes tipos de vegetación e incluso específicas de las especies de árbol (Lira, Suija, & Juriado, 2020; Zárate-Arias, Moreno-Palacios, & Torres-Benítez, 2019; Nash III, 2008; Brodo, Duran-Sharnoff, & Sharnoff, 2001).

CONCLUSIÓN

Los líquenes son organismos que gracias a su fisiología e interacciones con otros organismos influyen en las propiedades de los hábitats y ecosistemas en que se desarrollan. El hábito de estos organismos está relacionado con la textura, la capacidad de absorción y retención de la humedad, y la química del sustrato. Se han utilizado ampliamente en la medicina tradicional y artesanías por las comunidades aldeanas, así como en la industria química debido a la gran variedad de sustancias liquénicas. Sin embargo, aún los estudios son escasos, tanto de su ecología como de su fisiología, etnología y su uso potencial, así como el implemento de estos organismos como indicadores y monitores ecológicos de los ecosistemas forestales, o bien, en la industria química debido a la diversidad de sustancias liquénicas, de ahí la importancia de su conocimientos para futuras investigaciones aplicadas. Por tanto, la presencia de los líquenes epifitos en los ecosistemas forestales del estado de Chihuahua es relevante, debido a que ejercen una respuesta en diversidad y composición ante los cambios estructurales de los bosques.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANPA, I. (2001). Índice di Biodiversità Lichenica: manuale. ANPA, Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, Roma.
- Argón, G., Martínez, I., & García, A. (2012). Loss of epiphytic diversity along a latitudinal gradient in southern Europe. *Science of The Total Environment*, 426, 188-195.
- Barreno-Rodríguez, E. & Pérez-Ortega, S. (2003). *Líquenes de la Reserva Natural Integral de Muñiellos*. Asturias, España: KRK ediciones.
- Belnap, J. & Gillette, D. A. (1998). Vulnerability of desert biological soil crust to wind erosion: the influences of crust development, soil texture and disturbance. *Journal of Arid Environments*, 39, 133-142.
- Belnap, J. (2002). Nitrogen fixation in biological soil crusts from southeast Utah, USA. *Biol Fertil Soils*, 35, 128-135.
- Belnap, J., Phillips, S. L. & Miller, M. E. (2004). Response of desert biological soil crusts to alterations in precipitation frequency. *Oecologia*, 306-316.
- Benedict, J. B., & Nash III, T. H. (1990). Radial growth and habitat selection by morphologically similar chemotypes of *Xanthoparmelia*. *Bryologist*, 93, 319-327.
- Benítez, A., Aragón, G., González, Y., & Prieto, M. (2018). Functional traits of epiphytic lichens in response to forest disturbance and as predictors of total richness and diversity. *Ecological Indicators*, 86, 18-26.
- Boonpeng, C., Polyam, W., Sriviboon, C., Sangiamdee, D., Watthana, S., Nimis, P. L., & Boonpragob, K. (2017). Airborne trace elements near a petrochemical industrial complex in Thailand assessed by the lichen *Parmotrema tinctorum* (Despr. ex Nyl.) Hale. *Atmos Pollut Res*, 8(1), 101-113.
- Bosch-Roig, P., Barca, D., Mirocle-Crisci, G. & Lalli, C. (2017). Estudio sobre los líquenes como bioindicadores del contenido de metales pesados en el entorno de la Iglesia de los Santos Juanes de Valencia. *Estudos de conservação e restauro* (2), 22-36.
- Boustie, J., & Grube, M. (2005). Lichens-a promising source of bioactive secondary metabolites. *Plant Genetic Resources*, 3(2), 273-287.
- Brodo, I. M., Durán-Sharnoff, S. & Sharnoff S. (2001). *Lichens of North América* (Primera ed.). Canadá: Yale University Press.
- Brunialti, G., Frati, L., Calderisi, M., Giorgolo, F., Bagella, S., Giada, B., Cutini, A. (2020). Epiphytic lichen diversity and sustainable forest management criteria and indicators: A multivariate and modelling approach in coppice forests of Italy. *Ecological Indicators*, 115.
- Calcott, M. J., Ackerley, D. F., Knight, A., Keyzers, R. A., & Owen, J. G. (2018). Secondary metabolism in the lichen symbiosis. *Chemical Society Reviews*, 47, 1730-1760.
- Cardinale, M., Puglia, A. M., & Grube, M. (2006). Molecular analysis of lichen-associated bacterial communities. *FEMS Microbiology Ecology*, 57(3), 484-495.
- Castillo-Monroy, A. P. & Benítez, Á. (2015). Patrones de abundancia y riqueza de componentes de la costra biológica del suelo en un matorral seco del sur de Ecuador. *Avances en Ciencias e Ingenierías*. 7(1), 88-97.
- Castillo-Moroy, A. P., Bowker, M. A., Maestre, F. T., Rodríguez-Echeverría, S., Martínez, I., Barraza-Zepeda, C. E., & Escolar, C. (2011). Relationships between biological soil crusts,

- bacterial diversity and abundance, and ecosystem functioning: Insights from a semi-arid Mediterranean environment. *Journal of Vegetation Science*, 22, 165-174.
- Chacón-Ramos, V., Quiñónez-Martínez, M., & Álvarez-Barajas, I. L. (2014). Líquenes. En C. N. (CONABIO), *La biodiversidad en Chihuahua. Estudio de Estado* (págs. 421-425). México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Challenger, A. & Soberón, J. (2008). Los ecosistemas terrestres. En Conabio, *Conocimiento actual de la biodiversidad*. Capital natural de México. P. 87-108.
- Chaparro-de Valencia, M. & Aguirre-Ceballos, J. (2002). *Hongos liquenizados*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2013). Biodiversidad mexicana. México. Recuperado el 01 de octubre de 2019, de <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/bosqueTemplado.html>
- Devkota, S., Chaudhary, R. P., Werth, S. & Sheidegger, C. (2017). Indigenous knowledge and use of lichens by the lichenophilic communities of the Nepal Himalaya. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 13(15), 1-10.
- Eisenreich, W., Knispel, N., & Beck, A. (2011). Advanced methods for the study of the chemistry and the metabolism of lichens. *Phytochem Rev*, 10(3), 445.
- Escárpita-Herrera, A. (2001). Situación actual de los bosques de Chihuahua. *Madera y Bosques*, 3-18.
- Eswaran H. Beinroth, F. H., & Virmani, S. M. (2000) Resource management domains: a biophysical unit for assessing and monitoring land quality. *Agriculture, ecosystems & environment*, 81(2), 155-162
- FAO. (2006). *Estudio de tendencias y perspectivas el sector forestal en América Latina al año 2020*. Informe Nacional México. México: FAO.
- Fontecha, A. & Burgaz, A. R. (2017). Uso de los líquenes como bioindicadores de la calidad del aire: estado de la Ciudad Universitaria (Madrid, España). *Botánica Complutensis*, 42, 57-68.
- Garibotti, I. A., & Villalba, R. (2007). *Técnicas de liquenometría basadas en Rhizocarpon subgénero Rhizocarpon para datar depósitos glaciares en los Andes patagónicos*. Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales. Argentina: Boletín geográfico.
- Gayathri, D., & Swamy, C. T. (2012). Lichens: a novel and potential source as antimicrobials for human use. *Journal of Phytology*, 4(1), 38-43.
- Geneletti, D., Orsi, F., Lanni, E., & Newton, C. (2011). *Identificación de áreas prioritarias para la restauración de bosques secos*. Madrid, España: Fundación Internacional para la Restauración de Ecosistemas.
- Global Forest Watch. (2018). Global Forest Watch. Obtenido de: <https://www.globalforestwatch.org/> Ultimo acceso: 10 de noviembre de 2019
- Granados-Sánchez, D., López-Ríos, G. F. & Hernández-García, M. A. (2007). Ecología y silvicultura en bosques templados. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 13(1), 67-83.
- Grube, M., & Hawksworth, D. L. (2007). Trouble with lichen: the re-evaluation and re-interpretation of thallus form and fruit body types in the molecular era. *Mycological research*, 111(9), 1116-1132.
- Hawksworth, D. L., & Lücking, R. (2017). Fungal diversity revisited: 2.2 to 3.8 million Species. *Microbiology Spectrum*, 1-17.
- Hawksworth, D. L., Iturriaga, T. & Crespo, A. (2005). Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medioambientales en los trópicos. *Revista Iberoamericana de Micología*, 22(2), 71-82.
- Herrera Campos, M. D., Lücking, R., Pérez, R. E., Miranda González, R., Sánchez, N., Barcenás Peña, A., Carriozosa A., Zambrano A., Ryan B. D. & Nash III, T. H. (2014). Biodiversidad de líquenes en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 82-99.
- Honegger, R. (2001). The Symbiotic Phenotype of Lichen-Forming Ascomycetes. En: *The Mycota IX. Fungal Associations*. Hock B. (ed.). Springer.
- Hurtado, P., Prieto, M., Aragón, G., Escudero, A., & Martínez, I. (2019). Critical predictors of functional, phylogenetic, and taxonomic diversity are geographically structured in lichen epiphytic communities. *Journal of Ecology*, 107(5), 2303-2316.
- Illana-Esteban, C. (2009). Líquenes comestibles. *Bol. Soc. Micol.*, 33, 273-282
- Illana-Esteban, C. (2012). Líquenes usados en medicina tradicional. *Bol. Soc. Micol*, 36, 163-174.

- INEGI. (2005). Guía para la interpretación de la cartografía, uso del suelo y vegetación. Obtenido de INEGI: http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/1329/702825231798/702825231798_1.pdf Ultimo acceso el 22 de octubre de 2020.
- Jardel-Peláez, E. J. (2015). Criterios para la conservación de la biodiversidad en los programas de manejo forestal. *Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Comisión Nacional Forestal*. Zapopan, Jalisco, México.
- Kelleghan, D. B., Hayes, E. T., Everard, M. & Curran, T. P. (2019). Mapping ammonia risk on sensitive habitats in Ireland. *Elsevier*, 649, 1580-1589.
- Kirk P. M., Cannon P. F., Minter D. W. & Stalpers J. A. (2008). *Dictionary of the fungi*, 10th ed. Oxford, UK, CABI, Europe.
- Kosanic, M. & Rankovic, B. (2019). Lichen secondary metabolites as potential antibiotic agents. In *Lichen Secondary Metabolites*. Springer, Cham. Pp. 99-127
- Kyung-Hwa, L., Se-Jeong, O., Shin, J., Kyung-Keun, K., Jae-Hyuk, L., & Kyung-Sub, M. (2017). Usnic acid, lichen secondary metabolite, inhibits glioblastoma progression through the reduction of epithelial-mesenchymal transition and glioma stemness factors. *Experimental and Molecular Therapeutics*, 77(13), 5113.
- Lebgue-Keleng, T., Soto-Cruz, R., Quintana Martínez, G., Quiñonez-Martínez, M., & Viramontes Olivas, Ó. (2014). Bosques templados o bosques de coníferas. En Conabio, *La biodiversidad en Chihuahua: Estudio de Estado*. México. Pp. 410-415.
- Li, S., Liu, W. Y., & Li, D. W. (2013). Bole epiphytic lichens as potential indicators of environmental change in subtropical forest ecosystems in southwest China. *Ecological Indicators*, 93-104.
- Liba, C. M., Ferrara, F., Fantinatti-Garboggini, F., Albuquerque, R. C., Pavan, C., Ramos, P. L., . . . Barbosa, C. R. (2006). Nitrogen-fixing chemoorganotrophic bacteria isolated from cyanobacteria-deprived lichens and their ability to solubilize phosphate and to release amino acids and phytohormones. *Journal of Applied Microbiology*, 101(5), 1076-1086.
- Lidén, M., Jonsson Cabrajic, A. V., Ottosson-Löfvenius, M., Palmqvist, K., & Lundmark, T. (2010). Species-specific activation time-lags can explain habitat restrictions in hydrophilic lichens. *Plant, Cell Environ*, 33(5), 851-862.
- Lira, J., Suija, A., & Juriado, I. (2020). Habitat and host specificity of epiphytic lichens in a rural landscape: cultural heritage habitats as refugia. *Biodiversity and Conservation*, 29, 2141-2160.
- Lutzoni, F., & Miadilikowska, J. (2009). *Lichens. Current Biology*, 19(13), 502-503. doi: 10.1016/j.cub.2009.04.034.
- Marini, L., Nascimbene, J., & Nimis, P. L. (2011). Large-scale patterns of epiphytic lichen species richness: Photobiont-dependent response to climate and forest structure. *Science of The Total Environment*, 409(20), 4381-4386.
- McCune, B. (2000). Lichen communities as indicators of forest health. *The Bryologist*, 103(2), 353-356.
- Mendoza Aguilar, D. O. (2014). Costras biológicas del suelo en ecosistemas semiáridos: composición, rendimiento fisiológico y efecto en la germinación de plantas. (Tesis doctoral). Obtenido de: Universidad Autónoma de Nuevo León. Obtenido de: <http://eprints.uanl.mx/4068/1/1080253577.pdf> Ultima acceso el 10 de marzo de 2020.
- Muggia, L., & Grube, M. (2018). Fungal Diversity in Lichens: From Extremotolerance to Interactions with Algae. *Life*, 8, 15.
- Nascimbene, J., & Marini, L. (2015). Epiphytic lichen diversity along elevational gradients: biological traits reveal a complex response to water and energy. *Journal of Biogeography*, 42(7), 1222-1232.
- Nash III, T. H. (2008). *Lichen Biology*. Arizona: Cambridge University Press
- Nash III, T. H., Ryan, B., Gries, C., Bungartz, F. & Diederich, P. (2002). *Lichen Flora of the Greater Sonoran Desert Region* (Vol. 1). Arizona: Arizona State University, Tempe.
- Orozco-Hernández, M. E., Gutiérrez-Martínez, G. & Delgado-Campos, J. (2009). Desarrollo rural y deterioro del bosque. Región interestatal del Alto Lerma. *Economía, Sociedad y Territorio*, 9(30), 435-472.
- Pakeman, R. J., Brooker, R. W., O'Brien, D. & Genny, D. (2019). Using species records and ecological attributes of bryophytes to develop an ecosystem health indicator. *Elsevier*, 104, 127-136.

- Proctor, C. F., & Tuba, Z. (2002). Poikilohydry and homoihydric: antithesis or spectrum of possibilities? *New Phytol*, 156(3), 327-349.
- Purvis, W. (2000). *Lichens*. London: Natural History Museum.
- Randell-Badillo, J. (2008). *Ordenamiento ecológico territorial regional en los municipios donde se ubica el Parque Nacional Los Mármoles*. México, D.F.: Consejo Estatal de Ecología.
- Rankovic, B. & Kosanic M. (2015). Future directions in the study of pharmaceutical potential of lichens. En B. Rankovic (Ed.), *Lichen Secondary Metabolites* (pp. 179-202).
- Rather, L. J., Jameel, S., Ganie, S. A., & Bhat, K. A. (2018). Lichen derived natural colorants: history, extraction and applications. En M. Yusuf (Ed.), *Handbook of renewable materials for coloration and finishing* (pág. 103). USA: Scrivener Publishing.
- Razola, I., Rey, J. M., de la Montaña, E., & Cayuela, L. (2006). Selección de áreas relevantes para la conservación de la biodiversidad. *Ecosistemas*, 15(2), 34-41.
- Reyes-Gómez, V. M., & Núñez-López, D. (2014). Ecosistemas y uso de suelo. En C. N. (CONABIO), *La biodiversidad en Chihuahua: Estudio de Estado* (págs. 51-54). México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Rodríguez, H. (2019). Bosques: ecosistemas imprescindibles para el planeta. *National Geographic*. Obtenido de: https://www.nationalgeographic.com.es/naturaleza/bosques-ecosistemas-imprescindibles-para-planeta_14041 Último acceso: 8 de noviembre de 2020.
- Sánchez, C., Illoldi, P., Linaje, M., Fuller, T., & Sarkar, S. (2008). ¿Por qué hay un costo en posponer la conservación de la diversidad biológica en México? *Biodiversidad*, 76, 7-12.
- Sánchez, Ó., Vega, E., Peters, E., & Monroy-Vilchis, O. (2003). *Conservación de ecosistemas templados de montaña en México*. México: Instituto Nacional de Ecología.
- Sancho, L. G., Pintado, A. & Allan-Green, T. G. (2007). Antarctic studies show lichens to be excellent biomonitors of climate change. *Diversity*, 11(42), 1-14.
- Seaward, R. D. (2008). Environmental role of lichens. En T. H. Nash III (Ed.), *Lichen Biology* (págs. 274-298). Cambridge: Cambridge University Press.
- SEMARNAT. (2016). *Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. Indicadores clave, de desempeño ambiental y de crecimiento verde*. Edición 2015. México: SEMARNAT.
- Spribile, T., Tuovinen, V., Resl, P., Vanderpool, D., Wolinski, H., Aime, M. C., ... McCutcheon, J. P. (2016). Basidiomycete yeasts in the cortex of ascomycete macrolichens. *Science*, 353(6298), 488-492.
- Tripp, E. A., Lendemer, J. C. & McCune, C. M. (2019). Habitat quality and disturbance drive lichen species richness in a temperate biodiversity hotspot. *Oecologia*, 190, 445-457.
- Vondrák, J., Urbanavichus, G., Palice, Z., Malíček, J., Urbanavichene, I., Kubásek, J. & Ellis, C. (2019). The epiphytic lichen biota of Caucasian virgin forests: a comparator for European conservation. *Biodiversity and Conservation*, 28, 3257-3276.
- Will-Wolf, S., Hawksworth, D. I., Mccune B., Rosentreter R. & Sipman H. J. (2011). Lichenized Fungi. En: Mueller, G. M. *Biodiversity of fungi: inventory and monitoring methods*. Elsevier. Pp. 173-194.
- Zárate-Arias, N., Moreno-Palacios, M., & Torres-Benítez, A. (2019). Diversidad, especificidad de forofitos y preferencias microambientales de líquenes cortícolas en un bosque subandino de la región Centro de Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 43(169), 737-745.

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Composición de la leche de cabras Alpino Francesa suplementadas con aceites vegetales durante la lactancia

González-García, H.^{1}; Cortés-Sánchez, M. L.¹; Orozco-Erives, A.¹; López-Díaz, J. A.¹; Oreste La O-León²; Vivas-Arturo, W. F.³.*

Recibido: 9 de septiembre de 2021,
Segunda revisión: 10 de octubre,
Aceptado: 26 de octubre de 2021

RESUMEN

Con el propósito de evaluar el efecto de la suplementación energética a la dieta sobre la calidad de la leche, se usaron 40 cabras Alpino Francesa (70 días posparto, PV de 35 kg y una edad promedio de 36 meses) durante 70 días de lactancia. La dieta basal ofrecida fue ensilaje de sorgo y heno de alfalfa, más 400 gr de concentrado comercial (testigo) y dos grupos aparte con dieta testigo suplementada con aceite de soya o de canola a un nivel de 2.5 % de la dieta total. El análisis de la información se ajustó a un modelo para un diseño experimental completamente al azar. Las dietas suplementadas con aceites (soya o canola) presentaron mayores valores de grasa en la leche con respecto a la dieta testigo (3.12, 2.86 vs 2.65 %), respectivamente. La concentración promedio de la proteína (3.42 %) y de los sólidos totales (11.21 %) registró mayores contenidos en la leche de las cabras suplementadas con aceite de soya. Se concluye que la suplementación de aceite de soya en la dieta de cabras Alpino Francesa lactantes modifica positivamente la calidad de la leche.

Palabras clave: cabras lactantes, aceites vegetales, calidad de leche.

1 Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

2 Carrera de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Facultad Agropecuaria y Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional de Loja, Ecuador.

3 Universidad Técnica de Manabí. Facultad de Ciencias Zootécnicas, Portoviejo, Ecuador.

* Autor para correspondencia: hgonzale@uacj.mx. Instituto de Ciencias Biomédicas, Anillo envolvente del Pronaf y Estocolmo, s/n. Col. Progresista, Ciudad Juárez, Chihuahua, México. CP 32310; Tel. (656)-68818 00, ext. 1445.

ABSTRACT

To evaluate the effect of supplemented diet with vegetable oils on dairy goats on milk quality during 70 days of lactation, 40 French Alpine adult goats were used (70 days in milk, BW 35 kg, and age of 36 months old). The goats distributed themselves at random in three groups, Control goats diet to which were offered sorghum silage and alfalfa hay-like basal diet, plus 400 gr of concentrate (16 % PC), and two separate groups with control diet supplemented with soybean oil, and canola oil, at a level of 2,5 % of the total diet. Analysis of the information was fitted to a model for a completely random design. The diets with oils (soy or canola) presented greater values of milk fat concerning the control diet (3.12, 2.86 vs 2.65 %), respectively. The mean protein concentration (3.42 %) and total solids (11.21 %) displayed higher contents in goat milk supplemented with soy oil. One concludes that the supplemented lactation diet with soy oil in dairy goats positively modifies the milk quality.

Keywords: dairy goats, vegetable oils, milk quality.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad se estima una población mundial total de rumiantes domesticados (bovinos, búfalos, ovinos y caprinos) de 3876 millones de cabezas, representando los pequeños rumiantes (borregos, 1173 millones de cabezas y cabras, 1003 millones de cabezas) el 56.9 % del total, pero de esa cantidad solo el 20.8 % es para producción lechera y su aporte a la producción global de leche producida por los rumiantes es de 1.3 y 2.3 %, respectivamente; mientras que el ganado lechero es de 83.1 %, el de los búfalos de 13.1 % y el de los camellos de 0.3 %. Al considerar solamente la producción de leche de los pequeños rumiantes, las cabras representan el 59.54 % y las borregas el 40.46 % de la leche (FAOSTAT, 2020).

De acuerdo con Pulina *et al.* (2018), el total de cabras a nivel mundial se distribuye de la siguiente manera: 55.4 % en Asia, 38.7 % en África, 3.8 % en América, 1.7 % en Europa y 0.4 % en Oceanía. La producción mundial de leche de cabra se distribuye en Asia (52.7 %; India, Bangladesh y Pakistán), en África (25.7 %; Sudán y Sudán del Sur), en Europa (16.6 %), en América (4.9 %) y en Oceanía (0.1 %).

Según Nahed Toral *et al.* (2021), la mayoría de las cabras lecheras (92 %) se encuentra en Asia (52.1 %) y África (39.6 %), con menores cantidades en Europa (4.3 %), en América (4.0 %) y muy poca en Oceanía (0.1 %). Los países desarrollados cuentan con solo el 5 % del total de la población de esta especie, con una orientación esencialmente lechera y que contribuye con el 27 % de la producción láctea caprina mundial, el 95 % restante se ubica en países en desarrollo y se explotan para lograr un doble propósito: carne y leche.

La cabra lechera es un animal muy especial, ya que puede producir leche hasta un 10 % de su peso vivo (PV; entre 400 y 1500 litros por lactancia), de hecho, produce 1.47 veces más que las borregas a nivel mundial con una menor población. El mayor productor a nivel mundial de leche de cabra es India (22 %), seguido por Bangladesh (11 %) y Sudán (10 %), y México es el lugar 19 (Bidot-Fernández, 2017). Durante los últimos 50 años el consumo mundial de productos de leche de cabras y borregas se ha duplicado, y tal como lo han estimado Pulina *et al.* (2018), esta tendencia continuará aumentando hasta 2030 por 53 y 26 % para caprinos y ovinos, respectivamente. La producción total de leche de cabras y borregas es estimada en 15.26 y 10.37 millones de toneladas, en ese orden.

El inventario nacional de caprinos en México en 2019 era de 8 790 894 cabezas (SIAP, 2019), en 494 000 unidades de producción, las cuales contribuyen a la economía de 1.5 millones de mexicanos. Estas cabras producen 167 000 toneladas de leche y 48 000 toneladas de carne (1 y 0.9 % de la producción mundial, respectivamente). La región norte del país aporta el 66.95 % del total de leche producida, siendo Coahuila y Durango los que aportan el 36.38 y 21.33 %, respectivamente, mientras que Chihuahua produce el 4.86 % (Andrade-Montemayor, 2017).

Debido a su mayor cercanía a la leche humana, la composición química de la leche de cabra, dentro de su variabilidad entre razas, la convierte en una alternativa a la de vaca para el consumo humano e incluso se le considera superior, desde el punto de vista nutricional (Gallier *et al.*, 2020, Prosser, 2021). El consumo de leche de cabra se ha recomendado como sustituto de la leche bovina en la dieta de individuos que sufren alergia a la misma y presenta ventajas terapéuticas y nutricionales en determinados trastornos digestivos y metabólicos, como el síndrome de malabsorción lipídica o elevados niveles de colesterol en sangre, debido específicamente al

elevado contenido de ácidos grasos (AG) de cadena corta, de fácil digestión y metabolismo, en su grasa (Sepe y Arguello, 2019; Cháviri *et al.*, 2020).

La leche de cabra presenta ciertas características diferenciales con respecto a la leche de vaca, es notoriamente más blanca (ausencia de carotenos), su aroma es más fuerte, ya que absorbe durante su manejo ciertos compuestos aromáticos, siendo los AG de cadena ramificada participantes de ello debido a la existencia de una correlación directa entre esto y la tasa de AG libres de la leche.

Los principales puntos que afectan la composición de la leche en el plano nutricional son el consumo de MS (CMS), los carbohidratos estructurales y no estructurales presentes en la dieta, el tamaño de partícula, el uso de aditivos, de probióticos y de suplementos energéticos, así como la interacción entre cada uno de estos elementos. Entre los suplementos energéticos se encuentra el uso de aceites vegetales como el de girasol, cártamo, linaza, soya y canola, así como semillas de oleaginosas -linaza, canola y otras-, además de grasas protegidas, los cuales se han utilizado con el propósito de aumentar la concentración en la leche de ácidos ruménico y vacénico, y en general AG insaturados (AGI) en pequeños rumiantes (Cieslak *et al.*, 2010; Gómez-Cortés *et al.*, 2011; Nudda *et al.*, 2014; Albenzio *et al.*, 2016; Gómez-Cortés *et al.*, 2018; Nguyen *et al.*, 2019; Vargas-Bello *et al.*, 2020). No obstante, la mayoría de los estudios se ha llevado a cabo en ganado vacuno, siendo más contados los realizados en ovinos y caprinos.

En el caso de los rumiantes lactantes (vacas, cabras y borregas) se ha detectado que la adición o suplementación de diversas fuentes de grasas altas en AGI en la dieta durante la lactancia puede modificar la concentración de ciertos AG específicos de la grasa de la leche (Nudda *et al.*, 2013; Nudda *et al.*, 2014; Ferlay *et al.*, 2017; Almeida *et al.*, 2019; Engelke *et al.*, 2019; Muñoz *et al.*, 2019; Nudda *et al.*, 2020), pero la mayoría de los trabajos de investigación se han llevado a cabo en razas de elevado potencial productivo (Chilliard *et al.*, 2007); existiendo muy pocos estudios en cabras de razas de menor potencial genético (Luna *et al.*, 2008; Martínez-Marín *et al.*, 2011).

Por lo anterior, se realizó un estudio para evaluar el efecto de la suplementación con aceites vegetales en las dietas de cabras Alpino Francesa durante la lactancia sobre la composición de la leche, determi-

nada por el % de grasa, de proteína, de lactosa, de sólidos totales (ST) y de sólidos no grasos (SNG).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio y condiciones climáticas

La prueba experimental fue desarrollada en un establo caprino lechero ubicado en el Poblado de El Sauzal (latitud 31.6167, longitud -106.333), ubicado en el Municipio de Juárez, en Chihuahua, México. Este se encuentra a una altitud de 1135 msnm, con una precipitación media anual de 223.8 mm, una temperatura media anual de 17.3 °C y una oscilación térmica de 14.5 °C (Municipio de Juárez, 2020).

Población

Se utilizaron 40 cabras de raza Alpino Francesa, multíparas con un peso promedio 35 kg y 70 días posparto en promedio, durante 70 días de lactancia.

Tratamientos

Las cabras se agruparon al azar en tres corrales (tratamientos): 1) grupo testigo al que se le ofreció durante la lactancia forraje (ensilaje de sorgo y heno de alfalfa) más concentrado comercial (16 % PC); 2) grupo al que se le ofreció la dieta testigo (forrajes más el concentrado) adicionado aceite de soya al 2.5 % de la dieta total, y 3) grupo al que se le ofreció la dieta testigo suplementada con aceite de canola al 2.5 % de la dieta total.

Procedimientos generales

Los animales se alojaron en corrales en donde se les proporcionó el forraje en el comedero, mientras que el concentrado solo fue ofrecido en la sala de ordeño (dos veces al día) a razón de 400 g por animal por día durante el periodo de lactancia descrito. Los alimentos se ofrecieron diariamente en dos tomas, a las 08:00 y 17:00 horas y los dos ordeños diarios fueron una hora antes. Los animales tuvieron libre acceso a un bloque mineral y el agua estuvo disponible las 24 horas del día.

Preparación y pesaje de los suplementos

Cada semana se llevó a cabo la preparación del concentrado con el suplemento (aceites), en una tolva revoladora horizontal con capacidad de 250 kg. El pesaje del aceite se llevó a cabo en una báscula mar-

ca Torrey modelo MFQ con una capacidad de 20 kg y una media mínima de 5 g, mientras que el concentrado a granel se pesó en una báscula ganadera marca Nuevo León con capacidad de 500 kg y una media mínima de 225 g. De manera diaria el pesaje del concentrado para ser ofrecido a las cabras durante el ordeño se llevó a cabo en la báscula Torrey, descrita anteriormente.

Ordeño de las cabras y toma de muestra de leche

De cada corral fueron seleccionadas al azar de 10 a 12 cabras, a las cuales les fueron tomadas las muestras de leche (dos veces por semana), previo despunte para eliminar la primera cantidad de leche almacenada en el pezón, pero antes de ser ordeñadas mecánicamente. La ordeña mecánica de los animales se llevó a cabo en un sistema doble 15 lineal.

Las muestras de leche se depositaron en viales de plástico (50 ml) de cierre hermético para ser trasladadas al laboratorio para su análisis. Una vez obtenidas las muestras, estas se analizaron en un equipo MilkoScan Minor marca FOSS de acuerdo con la metodología de espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR; FOSS, 2016).

El analizador MilkoScan Minor de FOSS está dedicado al análisis de leche líquida, permite controlar y estandarizar los productos lácteos líquidos, al tiempo que realiza una detección de anomalías. Se utiliza para el análisis de diversos parámetros de la leche, entre estos grasa, proteína, lactosa, ST, SNG y punto crioscópico.

El MilkoScan Minor emplea la tecnología de FTIR. El interferómetro FTIR analiza el espectro infrarrojo medio completo, es un producto de laser de clase I. Su uso generalizado se debe principalmente a que permite realizar análisis cuantitativos de multicomponentes en muestras, con un mínimo de preparación. Esta metodología, además, se caracteriza por ser no destructiva, rápida, no emplear reactivos químicos, disminuir el error del operador y requerir menos mano de obra que los métodos tradicionales empleados en el laboratorio, pero sin los largos tiempos de pruebas.

El término espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier se origina en el hecho de que una transformada de Fourier se requiere para convertir los datos brutos en el espectro real (FOSS, 2016).

Variables evaluadas

La variable por estimar fue la composición nutricional de la leche, considerando % de grasa, % de proteína, % de lactosa, % de SNG y % de ST, por cabra y por corral. En el caso de cada variable evaluada de la leche de las borregas, se estimaron adicionalmente el promedio de cada una de ellas, considerando todas las muestras generadas durante la lactancia evaluada, así como por varias fases y en los cuatro periodos de muestreo en cada una de ellas. La fase 1 comprendió del muestreo 1 al 5, la fase 2 del 6 al 10, la fase 3 del 11 al 15 y la fase 4 del 16 al 20.

Diseño experimental y análisis de datos

El análisis de la información generada para las variables evaluadas de la leche se ajustó a un modelo para un diseño experimental completamente al azar, que consistió de tres tratamientos (corrales). El contenido inicial de cada variable de la composición de la leche, se tomó como covariables para el ajuste en el modelo estadístico.

El modelo fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + Cov_j + E_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Observación experimental,

μ = Media general,

T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento ($i=1, \dots, 3$),

Cov_k = Efecto de la covariable, y

E_{ijk} = Error experimental.

Los análisis estadísticos se llevaron a cabo mediante el paquete estadístico SAS (2003) a través del procedimiento de modelos lineales generales (GLM). La comparación entre medias se llevó a cabo mediante la prueba de Tukey (Montgomery, 1991).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los contenidos de grasa, proteína, lactosa, SNG y ST de la leche durante todo el período experimental en la lactancia de las cabras fueron ajustados por el contenido inicial de cada una de dichas variables como covariable en el modelo estadístico utilizado para el análisis de la información.

De acuerdo con Park (2010), la leche de cabra en promedio contiene 12.2 % de ST, consistiendo de 3.8 % de grasa, 3.5 % de proteína, 4.1 % de lactosa y

0.8 % de minerales. En tanto que Ferro *et al.* (2017) al hacer un metaanálisis utilizando diversas razas reportaron valores de 4.2 ± 0.9 % de grasa, 3.3 ± 0.4 % de proteína, 4.4 ± 0.4 % de lactosa, 12.7 ± 1.1 % de ST y 750 ± 75 kcal/kg de energía en la leche de cabra y específicamente para la raza Alpina encontraron 3.33 % de grasa, 3.10 % de proteína, 4.53 % de lactosa y 11.05 % de ST en la leche.

En un estudio llevado a cabo en Guanajuato, México, por Schettino-Bermúdez *et al.* (2018), evaluaron la calidad de la leche en cuatro unidades de producción totalmente independientes una de otra, con mayoría de cabras Saanen y con una poca proporción de raza Alpina, y las alimentaron con forrajes (heno de alfalfa y ensilaje de maíz) sin utilizar suplementación de grasa, pero ofreciendo el doble de concentrado que el que se suministró en esta prueba que se discute, encontrando valores de grasa de 2.8 hasta 3.3 ± 0.3 %, de proteína de 2.6 a 2.9 ± 0.2 %, de lactosa de 4.2 a 4.6 ± 0.2 %, de ST de 11.1 a 11.5 ± 0.8 % y de SNG de 7.5 a 8.2 ± 0.3 %.

El contenido total de grasa en la leche de cabra entre razas puede variar entre 2.45 a 7.76 % (Park, 2010), y posterior al parto, se presenta el mayor contenido en grasa de la leche y va disminuyendo a lo largo de la lactancia, debido a una relación inversamente proporcional entre la producción de leche y su contenido en MS y a una disminución de la movilización de las grasas en el organismo, lo cual repercute en la síntesis de lípidos en la ubre (Idowu y Adewumi, 2017).

El contenido ajustado inicial de la grasa en la leche entre los tratamientos fue menor ($P < 0.01$) en el grupo no suplementado (2.54 %) con respecto a las dietas con aceite de soya (3.20 %) y con aceite de canola (2.88 %). A lo largo de los diversos muestreos durante la lactancia se pueden detectar diferencias estadísticas prácticamente en todos los tiempos de muestreo (Cuadro 1), notándose que las dietas suplementadas con aceites presentaron la tendencia de tener mayores ($P < 0.01$) contenidos de grasa en la leche con respecto a la dieta testigo. El comportamiento descrito se puede observar claramente en la Figura 1 en donde los datos se agrupan por promedio ajustado total y por fases de varios muestreos, siendo los promedios ajustados de 2.65, 3.12 y 2.86 % ($P < 0.01$) para las dietas sin suplemento, y las adicionadas con aceite de soya y canola, en ese orden.

Los resultados de grasa láctea obtenidos en este experimento con la inclusión de aceite de soya y de canola al 2.5 % de la MS (3.12 y 2.86 %), res-

pectivamente, son inferiores a los reportados por Bouattour *et al.* (2008) en cabras lactantes Murciano-Granadinas a las que les ofrecieron aceite de soya en mayor proporción y más del doble de alimento concentrado por día a cada cabra (4.57 y 5.24 %), para las dietas control y con aceite de soya, en ese orden, mientras que la producción de leche no fue afectada. Los datos encontrados por Cabrera *et al.* (2020) en la grasa de la leche de cabras Saanen también fueron superiores en dietas suplementadas con aceite de soya y de girasol al 6 % de la MS (3.99 y 3.85 %) y con el doble de concentrado por cabra por día, pero sin diferencia estadística con respecto a la dieta testigo (3.90 %), respectivamente.

Asimismo, Santos e Silva *et al.* (2020) encontraron en cabras Saanen a las que se les adicionó aceite de soya en varios niveles (0, 1.5, 3.0 y 4.5 %) en la dieta, valores de grasa láctea de 3.23, 3.54, 3.97 y 4.17 %, en ese orden. Martínez-Marín *et al.* (2015) concluyen a partir de un metaanálisis que involucró 18 experimentos en cabras lecheras, que la inclusión de aceites y semillas ricos en AGI aumenta la proporción de grasa en la leche, pero no afecta el volumen de leche producido, tal y como sucedió con los valores reportados en este documento.

En cuanto a la proteína en la leche entre los tratamientos, se presentaron diferencias ($P < 0.01$) en todos los tiempos de muestreo (Cuadro 2), observándose contenidos muy similares en la proteína de los grupos sin suplemento o con adición de aceite de canola, así como una tendencia de detectar los mayores contenidos en la leche proveniente de cabras suplementadas con aceite de soya (Figura 2), los valores promedio ajustados para las dietas sin suplemento, con soya y con canola fueron de 3.33, 3.42 y 3.31 %, en ese orden ($P < 0.01$).

Los promedios obtenidos de la proteína de la leche indican una mayor concentración en la dieta adicionada con aceite de soya con respecto a la dieta testigo (3.42 y 3.33 %), respectivamente. A diferencia de los reportados por Bouattour *et al.* (2008), Cabrera *et al.* (2020) y Santos e Silva *et al.* (2020), quienes no encontraron diferencias en sus reportes de dicha variable, pero solo los primeros autores encontraron valores similares (3.37 %) a los de este experimento. Por otra parte, Santos e Silva *et al.* (2020) quienes utilizaron niveles graduales (ya descritos) de suplementación, reportaron datos menores de proteína láctea de 2.83, 2.94, 3.03 y 2.93 %, en ese orden.

En el Cuadro 3 se pueden apreciar las diferencias significativas ($P < 0.01$) que se presentaron a través del muestreo durante la lactancia, encontrándose los mayores contenidos de lactosa en la leche de las cabras del grupo testigo. En la Figura 3 se pueden observar dichas tendencias, así como el mayor promedio de lactosa ($P < 0.05$) para la dieta testigo con respecto a los grupos suplementados con aceites de soya y de canola (4.48 vs 4.41 y 4.40), en ese orden. Por otra parte, el comportamiento que presentaron los SNG (%) en la leche durante la lactancia de las cabras (Cuadro 4), mostró diferencias estadísticas ($P < 0.01$) en todos los muestreos, observándose una tendencia en el grupo suplementado con aceite de canola de presentar el menor contenido (8.22 %) de esta variable al avanzar la lactancia con respecto al resto de los grupos (Figura 4).

Lo anterior está acorde con lo reportado por Santos e Silva *et al.* (2020), quienes reportan diferencias para la lactosa entre los niveles graduales utilizados (4.68, 4.73, 4.80 y 4.91 %) y para los SNG (8.44, 8.62, 8.80 y 8.92 %), en ese orden, pero con valores menores en las dietas testigo; en contraste con Cabrera *et al.* (2020), quienes no encontraron diferencias en la lactosa (4.38 %),

En el Cuadro 5 se observa el comportamiento que presentaron los ST (%) en la leche durante la lactancia, encontrando diferencias estadísticas ($P < 0.01$) muy definidas, observándose en general una tendencia clara en el grupo suplementado con aceite de soya de presentar el mayor contenido de ST de la leche con respecto al grupo testigo y al adicionado con aceite de canola (Figura 5), siendo el promedio total ajustado de ST en la leche por tratamiento ($P < 0.01$) de 10.61, 11.21 y 10.44 % para las dietas sin suplemento y las adicionadas con aceite de soya y canola, respectivamente.

En este experimento se detectaron mayores concentraciones de ST en la leche de las cabras con dietas adicionadas con aceite de soya (11.21 %), al igual que Bouattour *et al.* (2008) quienes reportan valores de 12.9 y 13.4 %, y de los de Santos e Silva *et al.* (2020) quienes encontraron 11.67, 12.16, 12.78 y 12.88 % de ST lácteos, en ese orden.

En general, el efecto observado en la grasa láctea de este experimento, es común a todos los aceites y semillas adicionados a las dietas, el contenido de ácido butírico no suele afectarse negativamente, se reduce el de los AG saturados de cadena media y aumenta el de los AG de 18 átomos de carbono, especialmente los AG monoinsaturados. El aumento

de AGI en la dieta disminuye el contenido de los AG saturados de cadena corta y media en la grasa láctea de los rumiantes lactantes.

CONCLUSIONES

Con base en las condiciones en que se desarrolló este trabajo experimental, se puede concluir que el contenido de grasa promedio presentó una significativa tendencia de encontrarse los mayores valores en la leche de las cabras suplementadas con aceites (soya o canola) con relación a la proveniente de las cabras cuya dieta no fue adicionada con aceite (3.12, 2.86 vs 2.65 %), respectivamente. En el contenido de la proteína y de los ST promedio se observó un mayor contenido en la leche de cabras suplementadas solo con aceite de soya. La mayor concentración de lactosa promedio se detectó en el grupo de cabras sin suplemento, mientras que el menor contenido de SNG fue de la leche proveniente del grupo suplementado con aceite de canola.

En general se puede concluir que la suplementación con aceite de soya en la dieta de cabras Alpino Francesa durante la lactancia, puede modificar de manera positiva la calidad de la leche, incrementando la concentración de grasa, proteína y ST de la misma.

AGRADECIMIENTO

Se agradece a la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez por el financiamiento a través de la Convocatoria Programa Institucional de Investigación Aplicada para la Vinculación con el Entorno y la Atención de Problemas Específicos (PIVA).

Se agradece ampliamente al M.V.Z. Fernando Mendoza por las facilidades otorgadas para el uso de sus instalaciones y de sus animales.

BIBLIOGRAFÍA

- Albenzio, M., A. Santillo, M. Avondo, A. Nudda, S. Chessa, A. Pirisi y S. Banni (2016). "Nutritional properties of small ruminant food products and their role on human health". *Small Rumin. Res.* 135: 3–12.
- Almeida, O. C., M. V. C. Ferraz Junior, I. Susin, R. S. Gentil, D. M. Polizel, E. M. Ferreira, J. P. R. Barroso y A. V. Pires (2019). "Plasma and milk fatty acid profiles in goats fed diets

- supplemented with oils from soybean, linseed or fish”. *Small Rumin. Res.* 170: 125-130, 10.1016/j.smallrumres.2018.11.002.
- Andrade-Montemayor, H. M. (2017). “Producción de Caprino en México”. VIII Foro Nacional Del Caprino. *Tierras Caprino* 18: 24-29.
- Bidot-Fernández, A. (2017). “Composición, cualidades y beneficios de la leche de cabra: revisión bibliográfica”. *Rev. Prod. Anim.*, 29: 32-41.
- Bouattour, M., R. Casals, E. Albanell, X. Such y G. Caja (2008). “Feeding soybean oil to dairy goats increases conjugated linoleic acid in milk”. *J. Dairy Sci.* 91: 2399–2407.
- Cabrera, F., A. Liscano y G. Vicente (2020). “Evaluación del efecto de la suplementación con aceite de girasol o soya en dietas de cabras en lactación sobre el perfil lipídico de la leche”. Tesis de Grado de Doctorado. Facultad de Veterinaria, Universidad de la República. Montevideo, Uruguay.
- Cháviri, A. C. T., R. O. Marques, G. I. L. Cañizares, E. P. Brito, H. F. B. Gomes, R. V. Lourençon, P. R. L. Meirelles y H. C. Gonçalves (2020). “Yield, composition, and fatty acid profile of milk from Anglo Nubian goats fed a diet supplemented with vegetable oils”. *Rev. Bras. Zootec.* 49:, <https://doi.org/10.37496/rbz4920200071>.
- Chilliard, Y., F. Glasser, A. Ferlay, L. Bernard, J. Rouel y M. Doreau (2007). “Diet, rumen biohydrogenation and nutritional quality of cow and goat milk fat”. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 109: 828-855.
- Cieslak, A., J. Kowalczyk, M. Czauderna, A. Potkanski y M. Szumacher-Strabel (2010). “Enhancing unsaturated fatty acids in ewe’s milk by feeding rapeseed or linseed oil”. *Czech J. Anim. Sci.* 55: 496–504.
- Engelke, S.W., G. Das, M. Derno, A. Tuchscherer, K. Wimmers, M. Rychlík, H. Kienberger, W. Berg, B. Kuhla, C. C. Metges (2019). “Methane prediction based on individual or groups of milk fatty acids for dairy cows fed rations with or without linseed”. *J. Dairy Sci.* 102: 1788-1802, 10.3168/jds.2018-14911.
- FAOSTAT. (Food and Agriculture Organization of the United Nations). “Statistics Database”. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>. Consultado el 1 de septiembre de 2020.
- Ferlay, A., L. Bernard, A. Meynadier y C. Malpuech-Brugère (2017). “Production of trans and conjugated fatty acids in dairy ruminants and their putative effects on human health: A review”. *Biochimie*, 141: 107–120.
- Ferro, M. M., L. O. Tedeschi y A. S. Atzori (2017). “The comparison of the lactation and milk yield and composition of selected breeds of sheep and goats”. *Translational Anim. Sci.* 1: 498-506.
- FOSS (2016). Manual MilkoScan Minor. Disponible en: http://www.haes.co.id/supports/download/msc_minor.pdf. Consultado: 10 de enero de 2016.
- Gallier, S., L. Tolenaars y C. Prosser. (2020). “Whole Goat Milk as a Source of Fat and Milk Fat Globule Membrane in Infant Formula”. *Nutrients*, 12: 3486. <https://doi.org/10.3390/nu12113486>.
- Gómez-Cortés, P., A. Cívico, M. A. De la Fuente, N. Nuñez Sánchez, F. Peña Blanco y A. Martínez Marín (2018). “Effects of dietary concentrate composition and linseed oil supplementation on the milk fatty acid profile of goats”. *Animal*, 12: 2310-2317.
- Gómez-Cortés, P., M. A. De la Fuente, P. G. Toral, P. Frutos, M. Juárez y G. Hervás. (2011). “Effects of different forage:concentrate ratios in dairy ewe diets supplemented with sunflower oil on animal performance and milk fatty acid profile”. *J. Dairy Sci.* 94: 4578–4588.
- Idowu, S. y O. Adewumi (2017). “Genetic and Non-Genetic Factors Affecting Yield and Milk Composition in Goats”. *Advances Dairy Res.* 5:. doi: 10.4172/2329-888X.1000175.
- Luna, P., A. Bach, M. Juárez y M. A. De la Fuente (2008). “Influence of diets rich in flax seed and sunflower oil on the fatty acid composition of ewes’ milk fat especially on the level of conjugated linoleic acid, n-3 and n-6 fatty acids”. *Int. Dairy J.*, 18: 99-107.
- Martínez-Marín, A. L., N. Núñez, A. I. Garzón Peña, V. Domenech y F. Hernández (2015). “Meta-análisis del uso de semillas y aceites en la dieta de ovejas y cabras”. *Pesq. Agropec. Bras.* 50: 821-828.
- Martínez-Marín, A. L., P. Gómez-Cortés, G. Gómez Castro, M. Juárez, L. Pérez Alba, M. Pérez Hernández y M. A. De la Fuente (2011). “Animal performance and milk fatty acid profile of dairy goats fed diets with different unsaturated plant oils”. *J. Dairy Sci.*, 94: 5359-5368.

- Montgomery, D. C. (1991). *Diseño y Análisis de Experimentos*. Grupo Editorial Iberoamericana. México, D. F.
- Municipio de Juárez (2020). Mi ciudad- Características fisiográficas”. Disponible en: <http://www.juarez.gob.mx>. Consultado: 1 de octubre de 2020.
- Muñoz, C., R. Sánchez, A. M. T. Peralta, S. Espíndola, T. Yan, R. Morales, E. y M. Ungerfeld (2019). “Effects of feeding unprocessed oilseeds on methane emission, nitrogen utilization efficiency and milk fatty acid profile of lactating dairy cows”. *Anim. Feed Sci. Technol.* 249: 18-30, 10.1016/j.anifeedsci.2019.01.015.
- Nahed Toral, J., Z. G. López Tecpoyotl, J. R. Aguilar Jiménez, D. Grande Cano y C. Delgadillo Puga (2021). “Compliance of Goat Farming under Extensive Grazing with the Organic Standards and Its Contribution to Sustainability in Puebla, Mexico”. *Sustainability* 13: 6293. <https://doi.org/10.3390/su13116293>.
- Nguyen, Q. V., B. S. Malau-Aduli, J. Cavalieri, A. E. Malau-Aduli y P. D. Nichols (2019). “Enhancing Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acid content of dairy- derived foods for human consumption”. *Nutrients* 11: 743.
- Nudda, A., A. Cannas, F. Correddu, A. S. Atzori, F. Mondina, F. Lunesu, G. Battacone y G. Pulina (2020). “Sheep and goats respond differently to feeding strategies directed to improve the fatty acid profile of milk fat”. *Animals*, 10: 1290. <https://doi.org/10.3390/ani10081290>.
- Nudda, A., G. Battacone, A. S. Atzori, C. Dimauro, S. P. G. Rassu, P. Nicolussi, P. Bonelli y G. Pulina (2013). “Effect of extruded linseed supplementation on blood metabolic profile and milk performance of Saanen goats”. *Animal*, 7: 1464–1471.
- Nudda, A., G. Battacone, O. Boaventura Neto, A. Cannas, A. H. D. Francesconi, A. S. Atzori y G. Pulina (2014). “Feeding strategies to design the fatty acid profile of sheep milk and cheese”. *Rev. Bras. Zootec.* 43: 445–456.
- Park, Y. (2010). “Goat Milk Products: Quality, Composition, Processing, Marketing”. *Encyclopedia of Animal Science*. W.G. Pond y N. Bell, (Eds.). CRC Press. Boca Raton, FL. 2010.
- Prosser, C. (2021). “Compositional and functional characteristics of goat milk and relevance as a base for infant formula”. *J. Food Sci.*, doi: 10.1111/1750-3841.15574.
- Pulina, G., M. J. Milán, M. P. Lavín, A. Theodoridis, E. Morin, J. Capote, D. L. Thomas, A. H. D. Francesconi y G. Caja (2018). “Invited review: Current production trends, farm structures, and economics of the dairy sheep and goat sectors”. *J. Dairy Sci.*: 6715–6729.
- Santos e Silva, L., J. Fernandes, A. Rodrigues, K. Santoro, G. Dias, L. Vasconcelos, J. Barbosa y O. Cavalcanti (2020). “Soybean oil modulates the fatty acid synthesis in the mammary gland, improving nutritional quality of the goat milk”. *Small Rumin. Res.* 183: 1-8.
- SAS Institute. “SAS®User’s Guide: Statistics (Version 9.1)”. SAS Inst.Inc., Cary, NC. 2003.
- Schettino-Bermúdez, B. S., R. Gutiérrez-Tolentino, S. Vega y León, A. Escobar-Medina, J. J. Pérez-González y M. González-Ronquillo (2018). “Composición láctea y perfil de ácidos grasos en leche de cabra de Guanajuato, México”. *Rev. Salud Animal*, 40 (2):.
- Sepe, L. y A. Argüello (2019). “Recent advances in dairy goat products”. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 32: 1306-1320.
- SIAP. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA. Población Ganadera Caprina 2010–2019. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/564339/Inventario_2019_caprino.pdf. Consultado el 20 de junio de 2020.
- Vargas-Bello P. E., C. A. García Montes de Oca, N. Pescador Salas, J. G. Estrada Flores, J. R. Bernal, L. E. Robles-Jiménez y M. González-Ronquillo (2020). “Productive Performance, Milk Composition and Milk Fatty Acids of Goats Supplemented with Sunflower and Linseed Whole Seeds in Grass Silage-Based Diets”. *Animals*, 10: 1143. <https://doi.org/10.3390/ani10071143>.

Cuadro 1. Promedios Ajustados Del Contenido De Grasa (%) En La Leche De Cabras Suplementadas Con Aceites Vegetales Durante La Lactancia

Muestra	Suplemento 1		
	Testigo	Soya	Canola
1	2.54 ± 0.14 a	3.20 ± 0.12 b	2.88 ± 0.17 ab
2	3.21 ± 0.12 a	2.82 ± 0.10 b	2.73 ± 0.14 b
3	2.11 ± 0.09 a	2.99 ± 0.07 b	2.88 ± 0.09 b
4	2.27 ± 0.15 a	3.32 ± 0.12 b	2.95 ± 0.15 b
5	2.32 ± 0.13 a	3.01 ± 0.11 b	2.57 ± 0.14 a
6	3.18 ± 0.13	3.12 ± 0.11	2.79 ± 0.13
7	2.72 ± 0.15	3.07 ± 0.13	2.99 ± 0.16
8	3.04 ± 0.12	3.237 ± 0.10	3.06 ± 0.13
9	3.40 ± 0.10 a	2.86 ± 0.08 b	2.72 ± 0.10 b
10	2.64 ± 0.12 ab	2.90 ± 0.10 a	2.44 ± 0.123 b
11	3.04 ± 0.14 a	3.70 ± 0.12 b	3.38 ± 0.17 ab
12	2.66 ± 0.17 a	3.5 ± 0.14 b	2.94 ± 0.18 a
13	2.97 ± 0.13	2.97 ± 0.11	2.67 ± 0.14
14	2.57 ± 0.16 e	3.02 ± 0.13 f	2.90 ± 0.16 ef
15	2.23 ± 0.12 a	3.55 ± 0.10 b	3.30 ± 0.12 b
16	2.57 ± 0.14	2.79 ± 0.11	2.67 ± 0.14
17	2.59 ± 0.14	2.83 ± 0.12	2.67 ± 0.15
18	2.29 ± 0.14 a	3.08 ± 0.11 b	2.81 ± 0.14 b
19	2.29 ± 0.12 a	3.41 ± 0.10 b	3.13 ± 0.12 b
20	2.21 ± 0.13 a	2.9 ± 0.11 b	2.45 ± 0.13 a

1/ Media ajustada ± error estándar

abcd/ Las medias de las hileras con diferente literal, difieren significativamente ($P < 0.01$).

ef/ Las medias de las hileras con diferente literal, difieren significativamente ($P < 0.05$).

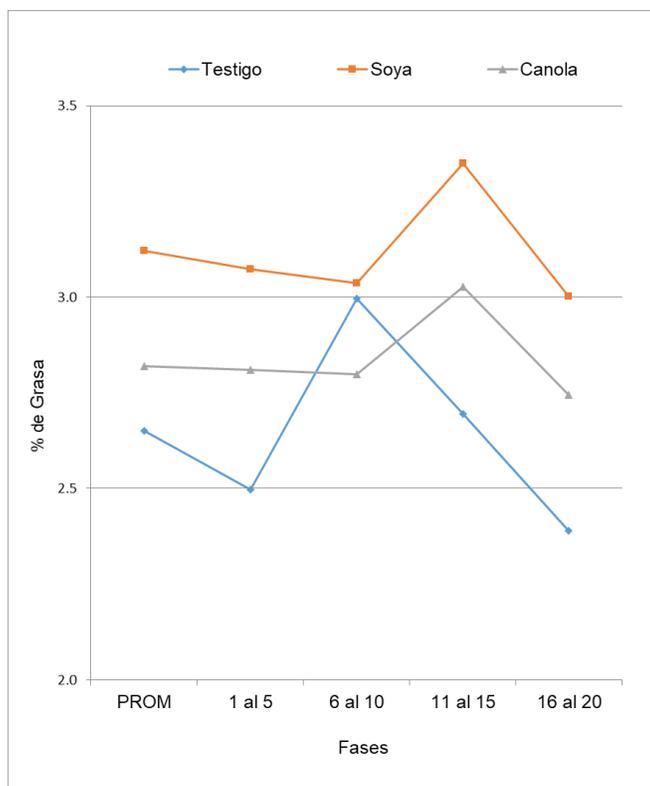


Figura 1. Tendencias ajustadas por fases en el contenido de grasa (%) de la leche de cabras suplementadas energéticamente durante la lactancia.

Cuadro 2. Promedios Ajustados Del Contenido De Proteína (%) En La Leche De Cabras Suplementadas Con Aceites Vegetales Durante La Lactancia

Muestra	Suplemento 1		
	Testigo	Soya	Canola
1	3.28 ± 0.02 a	3.42 ± 0.02 c	3.35 ± 0.02 b
2	3.35 ± 0.01 a	3.38 ± 0.01 a	3.30 ± 0.01 b
3	3.34 ± 0.02 ab	3.39 ± 0.02 a	3.30 ± 0.02 b
4	3.33 ± 0.02 a	3.4 ± 0.01 b	3.31 ± 0.02 a
5	3.32 ± 0.02 a	3.37 ± 0.01 b	3.31 ± 0.02 a
6	3.36 ± 0.02 a	3.43 ± 0.01 b	3.33 ± 0.02 a
7	3.28 ± 0.02 a	3.37 ± 0.01 b	3.28 ± 0.02 a
8	3.34 ± 0.01 a	3.45 ± 0.01 b	3.27 ± 0.01 c
9	3.35 ± 0.02 ef	3.4 ± 0.02 f	3.32 ± 0.02 e
10	3.29 ± 0.02 a	3.41 ± 0.02 b	3.37 ± 0.02 c
11	3.78 ± 0.02 a	3.92 ± 0.02 c	3.85 ± 0.02 b
12	3.34 ± 0.02 ab	3.4 ± 0.02 b	3.31 ± 0.02 a
13	3.37 ± 0.03	3.39 ± 0.02	3.33 ± 0.03
14	3.35 ± 0.02 a	3.44 ± 0.02 b	3.34 ± 0.02 a
15	3.27 ± 0.02 a	3.40 ± 0.02 b	3.24 ± 0.02 a
16	3.33 ± 0.04 ab	3.44 ± 0.03 a	3.22 ± 0.04 b
17	3.25 ± 0.03 e	3.33 ± 0.02 f	3.26 ± 0.03 e
18	3.24 ± 0.03 a	3.35 ± 0.02 b	3.29 ± 0.03 ab
19	3.12 ± 0.04 a	3.42 ± 0.03 b	3.26 ± 0.03 c
20	3.32 ± 0.02 ab	3.35 ± 0.02 a	3.26 ± 0.02 b

1/ Media ajustada ± error estándar

abcd/ Las medias de las hileras con diferente literal, difieren significativamente (P<0.01).

ef/ Las medias de las hileras con diferente literal, difieren significativamente (P<0.05).

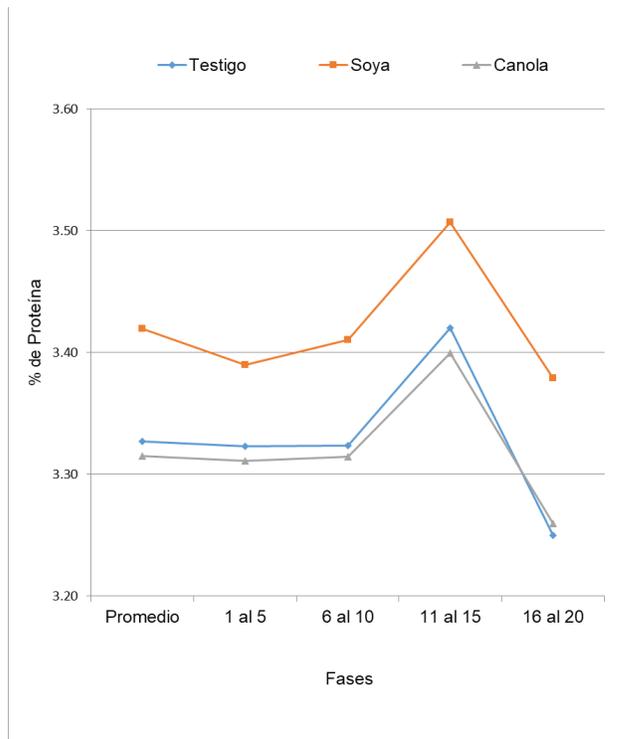


Figura 2. Tendencias ajustadas por fases en el contenido de proteína (%) de la leche de cabras suplementadas energéticamente durante la lactancia.

Cuadro 3. Promedios Ajustados Del Contenido De Lactosa (%) En La Leche De Cabras Suplementadas Con Aceites Vegetales Durante La Lactancia

Muestra	Suplemento 1		
	Testigo	Soya	Canola
1	4.58 ± 0.03 a	4.53 ± 0.02 a	4.45 ± 0.03 b
2	4.60 ± 0.03 a	4.48 ± 0.02 b	4.54 ± 0.03 ab
3	4.64 ± 0.03 a	4.43 ± 0.02 b	4.42 ± 0.03 b
4	4.59 ± 0.03 a	4.41 ± 0.02 b	4.4 ± 0.03 b
5	4.54 ± 0.03 a	4.48 ± 0.03 ab	4.4 ± 0.03 a
6	4.51 ± 0.03	4.46 ± 0.02	4.47 ± 0.03
7	4.57 ± 0.03 e	4.49 ± 0.02 f	4.45 ± 0.03 f
8	4.46 ± 0.03	4.47 ± 0.02	4.48 ± 0.03
9	4.45 ± 0.03 e	4.54 ± 0.02 f	4.51 ± 0.03 ef
10	4.47 ± 0.02 e	4.46 ± 0.02 e	4.39 ± 0.02 f
11	4.51 ± 0.02 a	4.37 ± 0.02 b	4.37 ± 0.02 b
12	4.43 ± 0.03	4.39 ± 0.02	4.36 ± 0.03
13	4.44 ± 0.04	4.39 ± 0.03	4.39 ± 0.04
14	4.43 ± 0.03 e	4.32 ± 0.03 f	4.33 ± 0.03 ef
15	4.44 ± 0.04 e	4.3 ± 0.03 f	4.29 ± 0.04 f
16	4.42 ± 0.04 e	4.28 ± 0.03 f	4.30 ± 0.04 ef
17	4.39 ± 0.03	4.35 ± 0.03	4.32 ± 0.03
18	4.39 ± 0.04	4.34 ± 0.03	4.27 ± 0.04
19	4.43 ± 0.04 e	4.34 ± 0.03 ef	4.31 ± 0.04 e
20	4.42 ± 0.03 e	4.33 ± 0.02 f	4.29 ± 0.03 f

1/ Media ajustada ± error estándar

abcd/ Las medias de las hileras con diferente literal, difieren significativamente ($P < 0.01$).

ef/ Las medias de las hileras con diferente literal, difieren significativamente ($P < 0.05$).

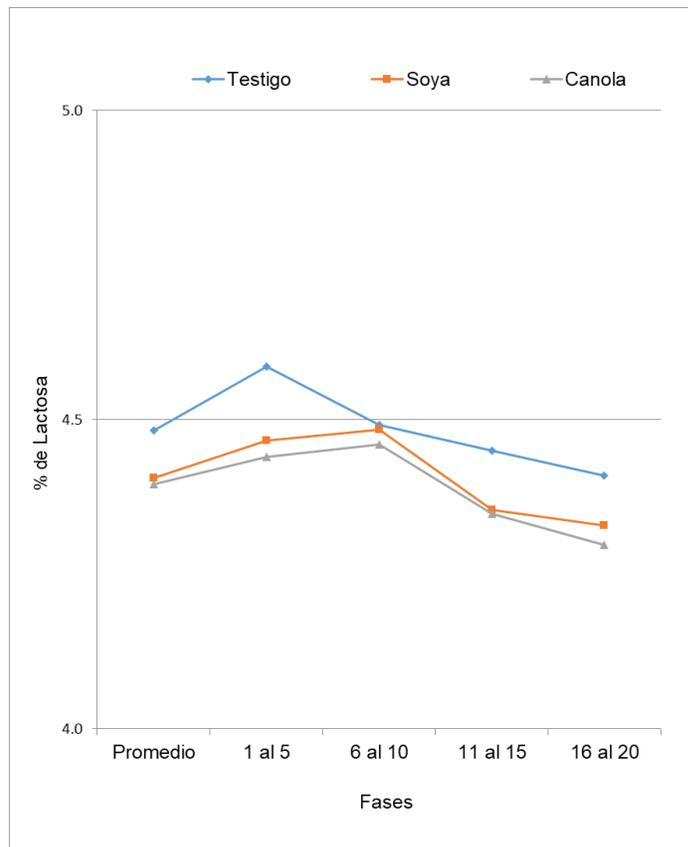


Figura 3. Tendencias ajustadas por fases en el contenido de lactosa (%) de la leche de cabras suplementadas energéticamente durante la lactancia.

Cuadro 4. Promedios Ajustados Del Contenido De Sólidos No Grasos (%) En La Leche De Cabras Suplementadas Con Aceites Vegetales Durante La Lactancia

Muestra	Suplemento 1		
	Testigo	Soya	Canola
1	8.41 ± 0.05 a	8.61 ± 0.04 b	8.4 ± 0.06 a
2	8.56 ± 0.04 a	8.48 ± 0.03 ab	8.38 ± 0.04 b
3	8.61 ± 0.05 a	8.42 ± 0.04 b	8.23 ± 0.05 c
4	8.54 ± 0.03 a	8.41 ± 0.03 b	8.26 ± 0.03 c
5	8.48 ± 0.05 a	8.39 ± 0.04 ab	8.25 ± 0.05 b
6	8.47 ± 0.04 ab	8.53 ± 0.03 a	8.39 ± 0.04 b
7	8.38 ± 0.04 ab	8.46 ± 0.03 a	8.25 ± 0.04 b
8	8.37 ± 0.04 a	8.57 ± 0.03 b	8.25 ± 0.04 c
9	8.38 ± 0.06 a	8.58 ± 0.05 b	8.45 ± 0.06 ab
10	8.29 ± 0.05 a	8.51 ± 0.04 b	8.37 ± 0.05 ab
11	8.33 ± 0.03	8.38 ± 0.03	8.33 ± 0.03
12	8.37 ± 0.05 e	8.36 ± 0.04 e	8.20 ± 0.05 f
13	8.46 ± 0.06 e	8.36 ± 0.05 ef	8.28 ± 0.06 f
14	8.38 ± 0.04 e	8.38 ± 0.03 e	8.25 ± 0.04 f
15	8.27 ± 0.04 a	8.24 ± 0.03 a	7.95 ± 0.04 b
16	8.32 ± 0.07 a	8.37 ± 0.06 a	7.99 ± 0.07 b
17	8.13 ± 0.05	8.20 ± 0.04	8.06 ± 0.05
18	8.20 ± 0.05 e	8.22 ± 0.04 e	8.06 ± 0.05f
19	8.01 ± 0.06 a	8.34 ± 0.05 b	8.05 ± 0.06 a
20	8.33 ± 0.04 a	8.22 ± 0.04 a	8.05 ± 0.05 b

1/ Media ajustada ± error estándar

abcd/ Las medias de las hileras con diferente literal, difieren significativamente ($P < 0.01$).

ef/ Las medias de las hileras con diferente literal, difieren significativamente ($P < 0.05$).

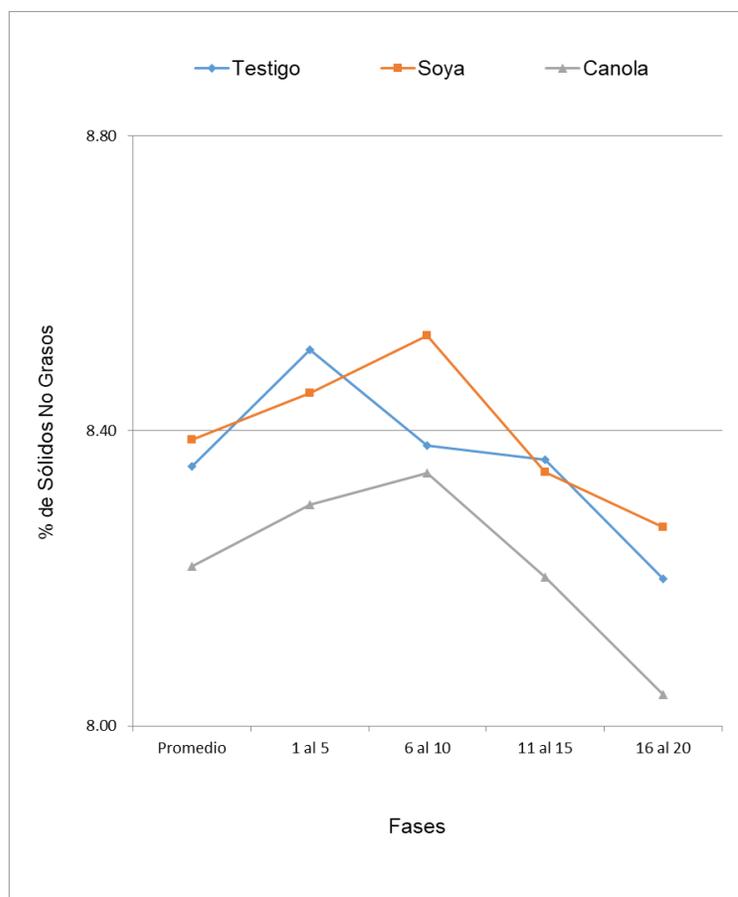


Figura 4. Tendencias ajustadas por fases en el contenido de sólidos no grasos (%) de la leche de cabras suplementadas energéticamente durante la lactancia.

Cuadro 5. Promedios Ajustados Del Contenido De Sólidos Totales (%) En La Leche De Cabras Suplementadas Con Aceites Vegetales Durante La Lactancia

Muestra	Suplemento 1		
	Testigo	Soya	Canola
1	10.53 ± 0.18 a	11.51 ± 0.14 b	10.89 ± 0.21 ab
2	11.50 ± 0.14 a	10.95 ± 0.12 b	10.65 ± 0.17 b
3	10.26 ± 0.13 a	11.09 ± 0.11 b	10.73 ± 0.14 b
4	10.36 ± 0.19 a	11.47 ± 0.15 b	10.81 ± 0.20 b
5	10.32 ± 0.16 a	11.15 ± 0.13 b	10.33 ± 0.17 a
6	11.38 ± 0.18 e	11.37 ± 0.15 e	10.69 ± 0.19 f
7	10.76 ± 0.21	11.23 ± 0.17	10.79 ± 0.22
8	11.12 ± 0.16 ab	11.54 ± 0.13 a	10.91 ± 0.17 b
9	11.55 ± 0.12 a	11.10 ± 0.10 b	10.66 ± 0.13 c
10	10.55 ± 0.18 a	11.08 ± 0.14 b	10.30 ± 0.19 a
11	10.09 ± 0.18 a	10.89 ± 0.14 b	10.44 ± 0.19 ab
12	10.68 ± 0.25 a	11.68 ± 0.20 b	10.64 ± 0.26 a
13	11.11 ± 0.21 e	11.04 ± 0.17 ef	10.44 ± 0.22 f
14	10.57 ± 0.22	11.11 ± 0.18	10.67 ± 0.24
15	10.05 ± 0.21 a	11.60 ± 0.17 b	10.88 ± 0.22 c
16	10.49 ± 0.20 ef	10.79 ± 0.16 e	10.21 ± 0.21 f
17	10.33 ± 0.21	10.71 ± 0.17	10.26 ± 0.22
18	10.06 ± 0.20 a	11.02 ± 0.17 b	10.41 ± 0.21 ab
19	9.91 ± 0.18 a	11.55 ± 0.15 b	10.73 ± 0.19 c
20	10.09 ± 0.20 a	10.82 ± 0.16 b	9.94 ± 0.21 c

1/ Media ajustada ± error estándar

abcd/ Las medias de las hileras con diferente literal, difieren significativamente (P<0.01).

ef/ Las medias de las hileras con diferente literal, difieren significativamente (P<0.05).

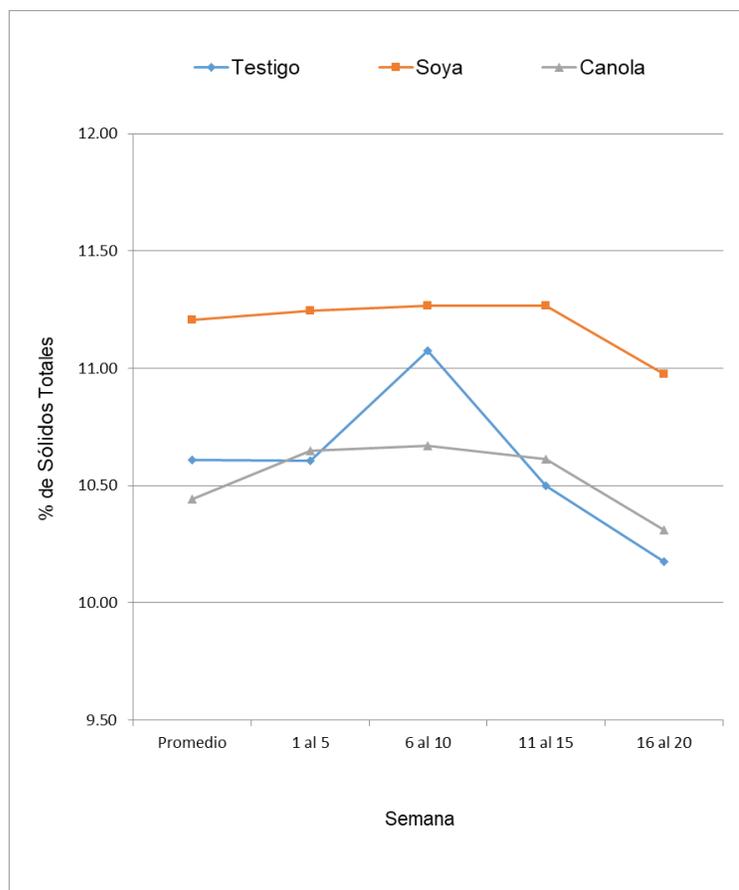


Figura 5. Tendencias ajustadas por fases en el contenido de sólidos totales (%) de la leche de cabras suplementadas energéticamente durante la lactancia.

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Reducción de desperdicio en proceso de fabricación de faro automotriz

Fuentes, M.MC^{1}, Herrera, R. E.¹, Lerma, F.A.¹ y Saucedo, S.R.¹*

Recibido: 13 de septiembre de 2021
Segunda revisión: 18 de octubre de 2021
Aceptado: 27 de octubre de 2021

RESUMEN

La empresa maquiladora de partes automotrices es una de las industrias importantes en el mercado global. La aplicación de herramientas de ingeniería y estadística son indispensables para mejorar los procesos constantemente. Este proyecto se realiza en una empresa automotriz dedicada a la fabricación de faros. Con la aplicación de la filosofía Seis Sigma en sus fases DMAIC y las herramientas de calidad, se redujo la cantidad de desperdicio durante el proceso de fabricación de lente de faro automotriz, el cual presentó un incremento considerable en los últimos 4 años, afectando los costos y efectividad en el proceso, generando un riesgo de incumplimiento en el tiempo de entrega a los requerimientos del cliente. Se identificó, además, la contaminación del lente como principal desperdicio. El diseño de experimento y el análisis de capacidad mediante la distribución Poisson antes y después de la mejora, proporcionaron evidencias suficientes para sustentar la reducción del desperdicio en un 44.65%.

Palabras clave: desperdicio, faro automotriz, reducción, gráficos, DMAIC.

¹ Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez. México

*Ma. Concepción Fuentes Morales. Cel: 6563397382, maria_fm@itcj.edu.mx. Autor para correspondencia.

ABSTRACT

The automotive parts assembly company is one of the important industries in the global market. The applications of engineering and statistical tools are essential to constantly improve processes. This project is conducted in an automotive company dedicated to the manufacture of headlights. With the application of the six-sigma philosophy in its DMAIC phases and quality tools, the amount of waste during the automotive headlight lens manufacturing process was reduced, which presented a considerable increase in the last 4 years, affecting the costs and effectiveness in the process, generating a risk of non-compliance in the delivery time in the client's requirements. Using the design of experiments and the analysis of capacity in the Poisson distribution, the contamination in the glasses were measured before and after the improvement, providing sufficient evidence to support the reduction of waste by 44.65%.

Keywords: Waste, Automotive Headlight, Reduction, Graphics, DMAIC.

INTRODUCCIÓN

La empresa maquiladora de partes automotrices se ha convertido en una de las industrias más importantes en el sector industrial con impacto social y económico. El sector automotriz es una dinámica de muy alta competitividad, afectando en diversos factores. Por ejemplo, Veloso y Kumar (2002) señalan, que uno de los principales factores competitivos es el patrón que presenta la demanda para los nuevos automóviles. Esto provoca en buena medida, un aumento de las exigencias de los clientes que requieren productos de calidad que se ajusten a las necesidades específicas, que se minimicen los desperdicios y se agilicen las entregas. Una forma de lograrlo, es mediante la filosofía Seis Sigma, que permite a calidad alcanzar el nivel de clase-mundial y a mejora continua, alcanzar el nivel más alto de la satisfacción de cliente. En ella, se establecen los métricos que alinean las metas estratégicas y los valores de una organización, con el de sus necesidades y de las expectativas de cliente; siguiendo un modelo formal y sistemático de mejora continua DMAIC (acrónimo de las 5 fases de la mejora de Seis Sigma, por sus siglas en inglés. Define (definir), measure

(medir), analyze (analizar), improve (mejorar) y por último control (controlar)). (Manual de Johnson Control; , 2015, p.44).

Ruiz y Rojas (2009) mencionan que DMAIC consiste en la aplicación de herramientas estadísticas para ajustar los procesos en la mínima tolerancia posible, como una forma de reducir desperdicios, defectos y las irregularidades, tanto en los productos como en los servicios, enfocado en la satisfacción del cliente.

Este proyecto fue aplicado en la empresa maquiladora Tecnología de Iluminación Automotriz S.A. de C.V. dedicada a la fabricación de faros para autos para distintas compañías ensambladoras. Si la implementación de esta metodología se realiza de manera correcta, se incrementaría la productividad y eficiencia en el proceso de producción, lo que facilita dar una respuesta más rápida a la variación de la demanda y principalmente se reducirían los desperdicios y costos. Lo que consigue más requerimientos, contratos, mayores beneficios económicos y supervivencia de la empresa.

Hoy en día la industria automotriz requiere que sus productos sean de mayor calidad, por tal motivo este proyecto se dirige a reducir el desperdicio en el área de fabricación de los lentes principalmente del modelo Tiguan de la Volkswagen siendo el modelo más afectado en el proceso. Los defectos encontrados en ellos, han causado altos índices de desperdicios provocando la disminución de la producción de las piezas y por consecuencia que la empresa no cumpla en tiempo y forma con la entrega a los clientes. Este proyecto se enfoca en reducir el defecto que se presenta con más incidencia la contaminación del lente. Mediante la metodología DMAIC de Seis Sigma se busca las causas y la solución a este problema para cumplir con la calidad requerida por el cliente con el fin de minimizar los desperdicios

MÉTODO EXPERIMENTAL

Los faros, son tan importantes en el auto como el chasis, el motor, las ruedas y la dirección. La elaboración de los estos consiste desde la fabricación de las partes del faro, el recubrimiento barniz o metalizado para el reflejo, lo que evita se raye, y finalmente su armado, para que el producto quede terminado y pueda ser enviado para ser ensamblado en el auto. Las máquinas con las que debe de contar el proceso y el equipo son: de moldeo de inyección que usan

moldes para cada uno de los modelos, de barniz con fixturas (moldes especiales) para colocar los lentes, y de metalizado con fixturas especiales, robots para transportar los lentes, selladoras y barnizadoras. Todas las partes son llevadas a las líneas de ensamble para el armado del faro. De esta forma se conforma el proceso del faro automotriz. Según Marino R. Báez (2010), por la exigencia de productos barnizados UV los impresores, comenzaron a crear su propia línea de máquina, para ya no mandar a hacer los trabajos y los clientes aumentarían.

La maquiladora de Tecnologías de la Iluminación Automotriz S.A. de C.V. empresa dedicada al ramo de faros para autos, presenta alto índice de desperdicios en el modelo Tiguan por contaminación en el área de fabricación de los lentes del faro. Los desperdicios en los modelos han afectado desde el año 2017. En la gráfica de la figura 1 se muestra los porcentajes de desperdicios de cada modelo que se trabaja.

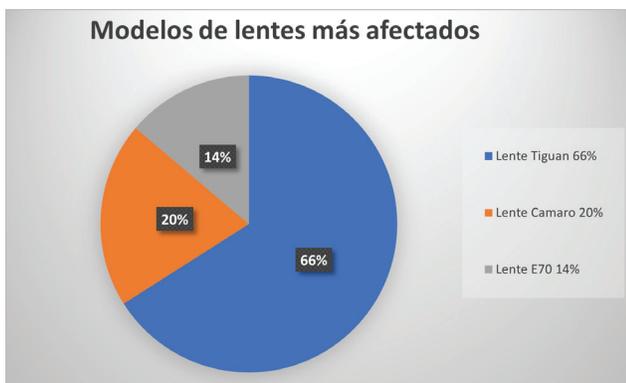


Figura 1. Porcentaje de desperdicios de modelos de lente en faro más afectados (elaboración propia).

Por tal motivo, el proyecto se enfoca en desarrollar el mejoramiento del proceso y la eliminación de desperdicios en el modelo Tiguan. que es el que presenta mayor porcentaje de problemática, con un 66% en defectos cosméticos, se describen a continuación:

- Rayas: Todo tipo de rayón que tenga forma de una línea en el lente provocado por pasar algún material filoso o rosarlo con otro tipo de material en el lente.
- Contaminación: Todo tipo de punto o impureza adherido o marcado en alguna parte del faro que ya no es posible quitar.

- Burbujas: Burbujas de un tamaño pequeño provocado por el barniz.
- Puntos negros: Puntos de virutas o quemaduras en el material de color negro causado por el molde.
- Laca corrida: Laca de barniz escurrida en alguna parte del lente.
- Salpicado: Gotas de laca en las partes del lente provocadas por barniz.
- Estrés: Parte del faro de policarbonato fracturado.
- Quebrados: partes del faro quebradas.

Esto es ocasionado en el lente por el mal ajuste de las máquinas y/o por error humano.

El proceso de la fabricación de los lentes consta de dos partes: la zona de moldeo de lentes como punto inicial y el área de barniz, este último consiste en el recubrimiento duro que se realiza como operación final en la construcción del lente, completado esto, procede a su empaque y envío al cliente. Este proceso involucra trabajo de maquinaria y personal operativo, que deben cumplir con los requisitos y especificaciones del cliente.

Las especificaciones del sistema de medición de defectos son las siguientes:

Tamaño de puntos admisibles (Diámetro o la extensión más grande en casos de no ser circular en mm).

- Zona A: 1 mm
- Zona B: 1.5 mm
- Zona C: 2 mm

Solo dos defectos encontrados en los lentes están permitidos y con una distancia de acuerdo a la zona de este.

- Zona A: 15 mm
- Zona B: 10 mm
- Zona C: 5 mm

Para confirmar si los lentes con defectos son aceptados o rechazados, los coordinadores de calidad cuentan con un sistema de medición con las especificaciones del cliente. (Figura 2).

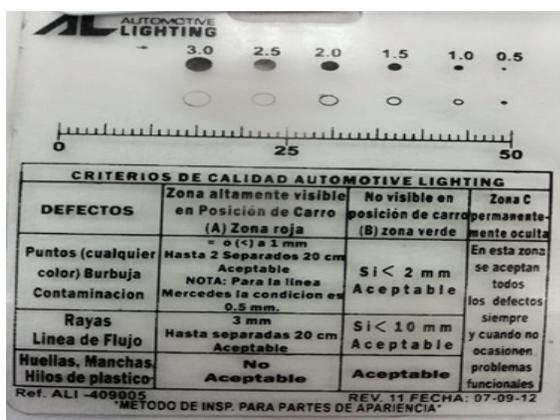


Figura 2. Sistema de medición para los defectos. (Manual de Tecnología de Iluminación Automotriz, 2016, p.10).

Por cada proceso del área de producción de faros ya sea moldeo, barniz o metalizado, se cuenta con un máximo de seis empleados por máquina y en las líneas de ensamble los que sean necesarios para cubrir las áreas de trabajo.

Los lentes se dividen por zonas que indican las partes visibles cuando el faro está instalado en el auto, las zonas se identifican de la A a la C, donde A es lo más visible y C es lo no visible. Por lo tanto, de acuerdo con el departamento de control de calidad, si algún defecto toca las zonas visibles no es aceptado (Figura 3), pero el defecto al tocar una zona no visible será aceptado. Las zonas que determinan el área del lente.

- Zona A (color rojo): Parte visible en el auto
- Zona B (color amarillo): Parte menos visible
- Zona C (color verde): Parte que no se llega a ver en el auto



Figura 3. Identificación de partes del lente para identificar los defectos. (Manual de Tecnología de Iluminación Automotriz, 2016, p.11).

En la Figura 4 se muestra el diagrama de relación entre los pasos de la metodología DMAIC, especificando en qué consiste cada uno de ellos; mismos que se llevaron a cabo para lograr la reducción de los desperdicios ocasionados por la contaminación en los lentes del modelo Tiguan.

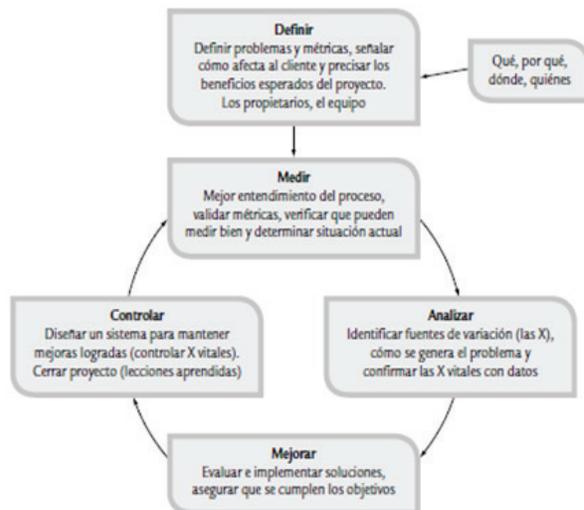


Figura 4. Etapas para realizar un proyecto Seis Sigma. (Gutiérrez Pulido, 2004).

Definir

Barrera *et al.* (2017) mencionan que en la etapa definir es importante conocer el proceso y actividades de las personas que trabajan en la misma con el fin de tener la certeza del proceso a seguir. En correspondencia con el modelo, se identificaron los cuatro defectos en los lentes del modelo Tiguan que ocasionan más desperdicios: la contaminación, rayas, burbuja y laca corrida. El que más afecta es la contaminación, que obtuvo un 47% (Figura 5).

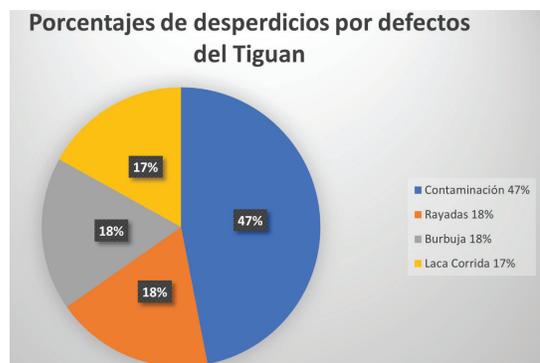


Figura 5. Porcentaje de desperdicios por defectos en el modelo Tiguan (elaboración propia).

Medir

Arias *et al.* (2008) recomiendan que antes de aplicar un estudio de capacidad se debe comprobar que el proceso esté funcionando en óptimas condiciones. Por lo tanto, se requiere hacer una revisión de parámetros y funcionamiento correcto. Se obtuvo un análisis de capacidad para observar cómo se comporta la contaminación en los lentes. Considerando que la contaminación son partículas de polvo de tamaños menores o iguales a 1 mm, se mide por cantidad de contaminantes y de acuerdo con las especificaciones inherentes del cliente, para que el lente sea aceptado debe ser ≤ 1 . Las máquinas de moldeo y la de barniz deben ser evaluadas y validadas por los coordinadores de calidad, encargados de revisar controles como la hoja de verificación para cada una de las mismas, en donde se recopilan los datos reales de los parámetros con los que están funcionando; de manera contraria no se permite trabajar. La inspección del equipo operativo es fundamental para evitar posibles factores que ocasionen los defectos.

- Equipo de limpieza apropiado para los lentes (paños, alcohol)
- Equipo apropiado para quitar material sobrante en los lentes (navaja, rebabador)
- Fuentes de energía encendidas del aire ionizado

Una vez validado el buen funcionamiento de las máquinas y del personal operativo del proceso se procede a hacer el estudio de capacidad usando la distribución Poisson, ya que es posible contar los defectos en cada elemento que proviene de un proceso estable y usar una cifra adecuada de subgrupos ayuda a captar las diferentes fuentes de variación en el tiempo, tal como lo menciona Pérez Urrego (2014).

Se tomaron muestras observando el número de contaminantes en cada uno de los lentes del modelo Tiguan en un día, se formaron 24 subgrupos (muestras) de tamaño 5 cada uno durante los tres turnos (Tabla 1).

Tabla 1. Datos del proceso para estudio de capacidad con Poisson (elaboración propia).

Muestras	Contaminantes					Muestras	Contaminantes				
1	3	2	1	0	2	13	1	2	3	4	2
2	0	5	2	0	1	14	0	3	3	0	0
3	0	4	0	4	2	15	5	1	0	2	0
4	3	2	0	1	0	16	1	2	3	0	0
5	2	0	3	1	2	17	1	0	2	3	1
6	0	2	1	1	0	18	2	2	0	1	3
7	0	0	1	2	1	19	0	2	1	2	2
8	2	0	3	0	1	20	3	2	0	1	0
9	2	0	3	0	1	21	0	3	0	4	0
10	0	1	2	0	1	22	1	0	2	2	0
11	0	2	0	1	0	23	1	1	2	0	2
12	0	2	0	1	2	24	3	0	2	3	1

Analizar

Pérez L. *et al.* (2017) mencionan que en esta etapa se conocen y analizan todos los datos reunidos de la etapa anterior, para ver la diferencia entre el antes y después previsto y dar prioridades a diversas oportunidades potenciales de mejora.

El equipo de trabajo realizó una tormenta de ideas de las causas posibles de la contaminación en el lente Tiguan, y mediante votación identificaron las potenciales plasmándolas en un diagrama de Ishikawa (Figura 6). Estas causas están clasificadas en controlables y no controlables, diseñando un plan de acción para su investigación y corrección.

Diagrama de causa y efecto en modelo Tigan

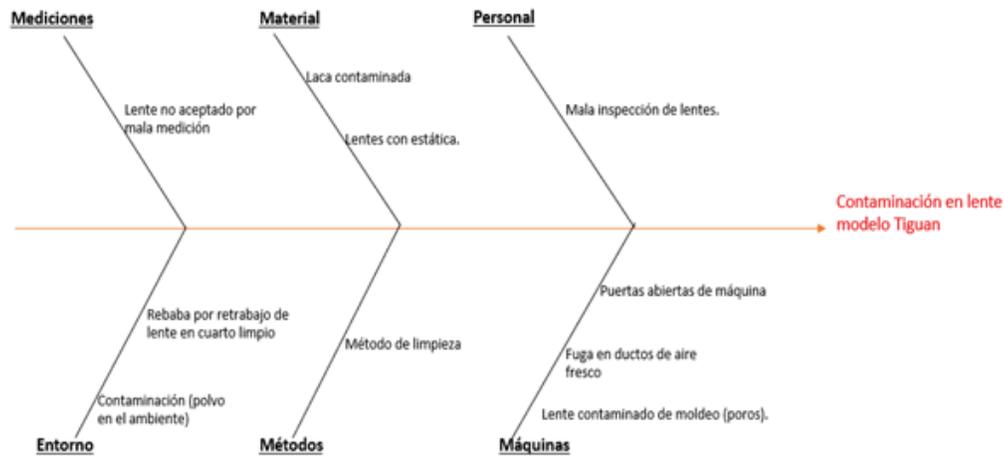


Figura 6. Causas potenciales de contaminación en modelo Tigan (elaboración propia).

La Tabla 2 presenta la votación de las causas potenciales de contaminación, muestra que el método de limpieza es la causa mayor que ocasiona el desperdicio por contaminación en el lente Tigan. Este es un factor no controlable, ya que la empresa no cuenta con un método establecido de limpieza adecuado, al no estar especificada la cantidad de alcohol en el paño, tampoco si el paño debe estar o no ionizado para evitar que partículas de basura se adhieran a los lentes. Por tal motivo, se establece un procedimiento de limpieza en los lentes Tigan

que evitará la contaminación y por ende reducir el desperdicio. Este procedimiento de limpieza debe ser el resultado de la aplicación de un diseño de experimentos, para que sea adecuado y confiable, que aborde las siguientes actividades:

- Soplar lente con aire ionizado
- Limpieza del lente con paño con alcohol

Es necesario especificar cómo se llevarán a cabo estas actividades y establecer en qué condiciones.

Tabla 2. Determinación de las causas potenciales (elaboración propia).

Identificación de las causas potenciales de contaminación en el lente Tiguan					
Causas potenciales	Factor controlable	Factor no controlable	Votación	Puntuación de votos	Observaciones de la causa
Rebaba por retrabajo en cuarto limpio	X		4,2,2,3,2,5,41	25.1	Pedazos de plástico mayores a .5 cm
Contaminación (polvo en el ambiente)		x	4,5,3,4,4,5,3,5	25.4	Polvo partículas o piel muerta encontrada en el medio ambiente
Mal método de limpieza	X		5,4,5,5,4,3,5,5	31.6	Método de limpieza del lente
Laca contaminada	X		1,2,4,2,3,1,2,2	15.3	Pintura, laca sucia
Lentes con estática	X		3,4,1,1,2,1,2,3	14.4	Estática atrae la contaminación
Mala inspección de lentes en carga de <i>hard coating</i>	X		2,1,2,1,3,1,2	12.3	Mala inspección del operador
Puerta mal cerrada por inspección de maquinaria	X		2,3,2,4,3,3,1,2	18.3	Al abrir la puerta entra partículas que se adhieren al lente fresco
Fugas de ductos de aire fresco	X		1,2,2,1,1,1,2,2	10.3	Ducto en mal estado. No es común
Lentes marcados por molde contaminado	X		3,4,5,5,5,3,4,2	28.3	Marca del molde en el lente

Gutiérrez Pulido (2004) informa, que el diseño de experimentos es la aplicación del método científico, para generar conocimiento acerca de un sistema o proceso. Se implementó un diseño de experimentos con dos factores y tres niveles. El experimento consistió en 90 corridas combinando tres niveles: mojado con alcohol, húmedo con alcohol y sin alcohol, para el factor de paño con alcohol, y para el factor ionizado los tres niveles: ionizado, sin ionizar, ionizado antes y después de la limpieza. Buscando encontrar la manera más óptima de realizar la limpieza en el lente, logrando así, el objetivo de reducir el desperdicio.

Mejorar

Valdez *et al.* (2020) indican que el monitoreo periódico del flujo de actividades para verificar que el proceso se cumpla de acuerdo con una manufactura esbelta que maneja la empresa, es decir, no se generen desperdicios y se cumpla con el tiempo establecido. De acuerdo con las condiciones obtenidas en el diseño de experimentos, se llevó a cabo la capacitación operaria y la evaluación de los resultados en un periodo de una semana.

Controlar

Yepes y Pellicer (2005) mencionan que en esta etapa el objetivo es no perder los logros realizados en las fases anteriores, es decir, mantener la estabilidad del proceso y su capacidad a un nivel de calidad de Seis Sigma. Es importante el seguimiento a la capacitación y certificación obtenida en el operario y sobre todo en el personal de nuevo ingreso, para que el método de limpieza se lleve a cabo como se especificó. Se realizan auditorías constantes para prevenir errores y que el problema no se presente nuevamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estudio de capacidad

Usando el programa Minitab® con un nivel de confianza del 95 %, la gráfica de tasa de defectos indica que los puntos se mantienen en la línea a lo largo de esta, por lo que está siguiendo una distribución Poisson, la gráfica U indica que el proceso es estable excepto por dos puntos afuera por exceso de

contaminantes. La gráfica de defectos acumulados por unidad indica que es relativamente estable. El intervalo de confianza para el DPU indica que se puede estar el 95 % seguro de que la media se

encuentra dentro de los límites (LC) de 0.2254 y 0.3095. La media estimada de DPU es 0.2650, por lo tanto, esto indica que un lente con defectos ocurre cada cuatro lentes producidos. Esto nos dice que es necesario reducir el DPU (Figura 7).

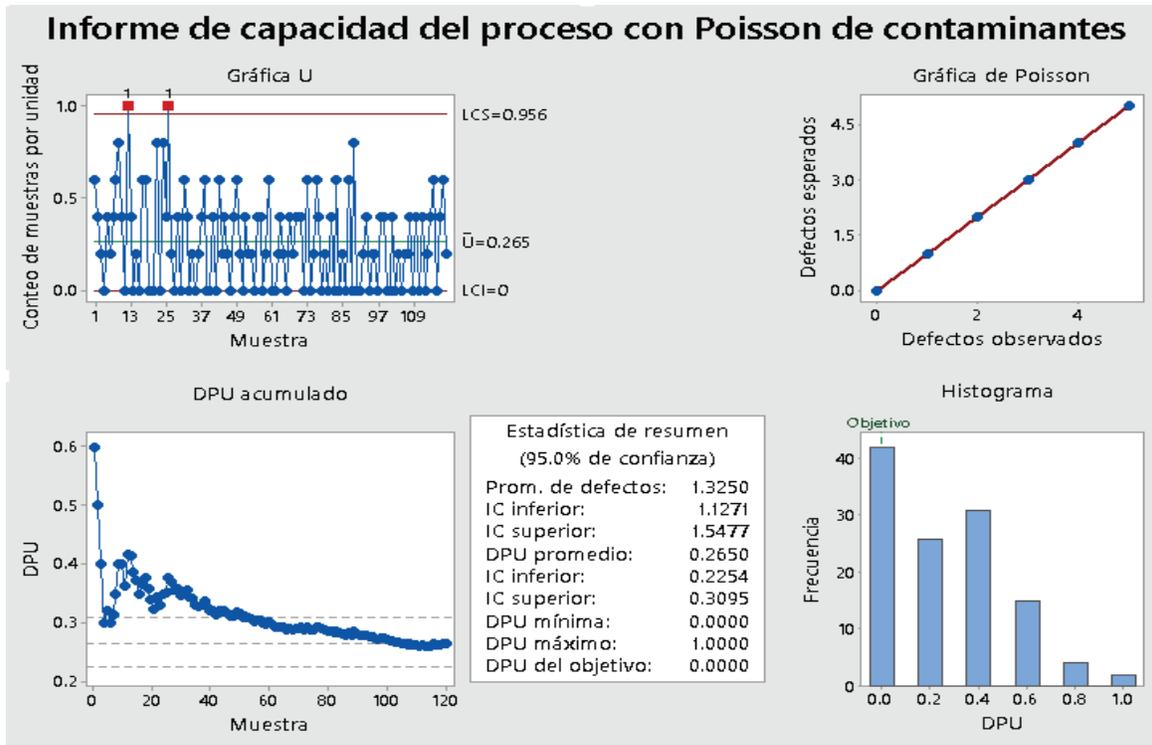


Figura 7. Estudio de capacidad con Poisson de contaminantes (elaboración propia).

Tabla 3. Factores y niveles para diseño factorial

Diseño Factorial de Experimentos	
Factor	Niveles
pañó con alcohol	mojado
	húmedo
	Sin alcohol
ionizado	con ionizado
	sin ionizado
	antes y después (de limpieza)

Fuente: Elaboración propia.

Los datos obtenidos de las réplicas se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados de réplicas para diseño factorial completo

Paño con alcohol	Ionización			Paño con alcohol	Ionización		
	con ionizado	sin ionizado	antes y después		con ionizado	sin ionizado	antes y después
Mojado	4	3	1	Húmedo	2	2	1
	3	5	0		0	1	0
	3	6	0		1	0	0
	5	3	0		0	0	0
	2	4	1		0	1	0
	5	7	0		1	3	1
	8	5	0		0	2	0
	6	2	0		2	1	1
	3	4	0		0	4	1
	2	3	0		Seco	1	2
0	2	0	3	2		1	
0	0	0	2	0		0	
1	1	1	1	1		0	
0	0	0	0	1		2	
1	0	0	1	2		0	

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del experimento que arrojó el software Minitab® sobre el método de limpieza del lente, se muestran en la Figura 8, donde se pueden observar que los valores de P en los factores estudiados son mayores a 0.05 del valor de significancia, lo cual indica que el método de limpieza no es el adecuado.

Coefficientes					
Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante	1.589	0.119	13.31	0.000	
Paño con Alcohol					
mojado	1.511	0.169	8.95	0.000	1.33
húmedo	-1.122	0.169	-6.65	0.000	1.33
Ionizado					
con	0.544	0.169	3.22	0.002	1.33
sin	0.644	0.169	2.82	0.000	1.33
Paño con Alcohol*Ionizado					
mojado con	1.056	0.239	4.42	0.000	1.78
mojado sin	0.656	0.239	2.75	0.007	1.78
húmedo con	-0.511	0.239	-2.14	0.035	1.78
húmedo sin	-0.411	0.239	-1.72	0.089	1.78

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust	MC Ajust	Valor F	Valor p
Modelo	8	241.89	30.236	23.57	0.000
Lineal	4	174.58	43.644	34.03	0.000
Paño con Alcohol	2	110.82	55.411	43.20	0.000
Ionizado	2	63.76	31.878	24.85	0.000
Interacciones de 2 términos	4	67.31	16.828	13.12	0.000
Paño con Alcohol*Ionizado	4	67.31	16.828	13.12	0.000
Error	81	103.90	1.283		
Total	89	345.79			

Figura 8. Resultados de la regresión factorial general (elaboración propia).

Para observar de una manera más clara cómo se relacionan una variable con otra, se obtuvieron las gráficas de efectos principales (Figura 9) y la de interacciones (Figura 10), con el fin de encontrar qué combinación entre los factores provoca menos contaminación en los lentes.

Gráfica de efectos principales: muestra que el factor del paño con alcohol húmedo tiene una media de .5 contaminantes y el ionizado con menor media de contaminantes es al aplicar aire antes y después de limpiarlo con alcohol.

Gráfica de interacción: se muestra la interacción entre el paño con alcohol y el ionizado, indicando que el aire ionizado antes y después con el paño con alcohol húmedo, mojado o sin alcohol presentan una media entre 0 y 1 y también presenta una interacción menor a 1 con aire ionizado y con un paño húmedo.

En las gráficas se tomaron en cuenta los resultados que tuvieron una media menor o igual a 1, que son los requisitos de aceptación del departamento de control de calidad y por ende del cliente. Mediante un análisis se presentaron los resultados y se decidió el mejor método de limpieza, determinando ionizar los lentes y continuar con la limpieza de los lentes con un paño con alcohol húmedo (con ionizado; paño húmedo).

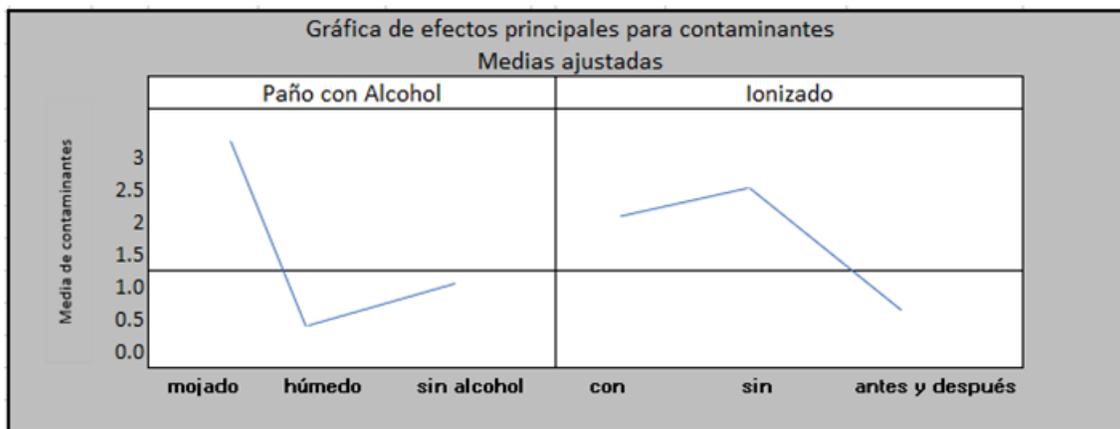


Figura 9. Gráfica de efectos principales (elaboración propia).

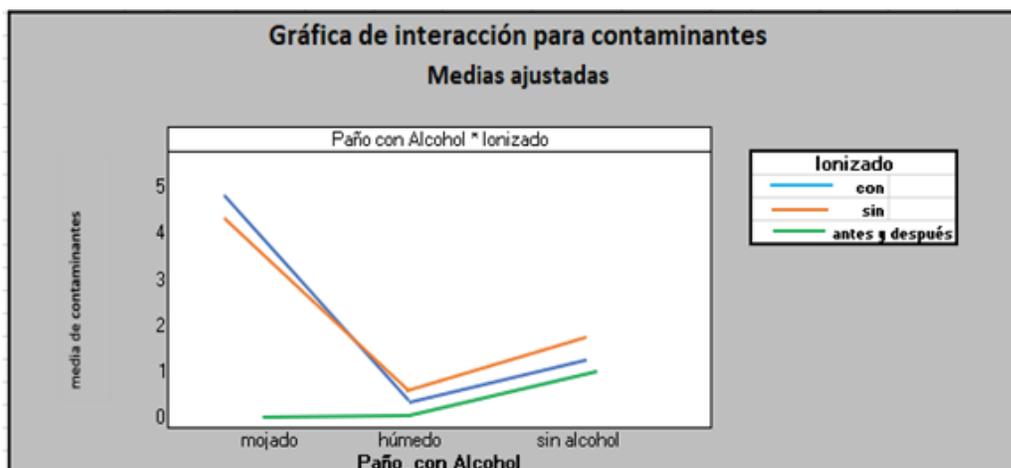


Figura 10. Gráfica de interacciones de resultados de contaminantes en lentes (elaboración propia).

ANÁLISIS DE CAPACIDAD CON LA DISTRIBUCIÓN POISSON PARA LA MEJORA

Se tomó como muestra nuevamente el número de contaminantes y se realizó el análisis de capacidad con la distribución Poisson, para poder evaluar la mejora y revisar si los contaminantes disminuyen, tomando 24 muestras de tamaño 4 cada una diariamente (Tabla 5).

Tabla 5. Datos de contaminantes en lentes del Tiguan (elaboración propia).

Corridas del Estudio de Capacidad con la Mejora									
Muestra	Número de contaminantes				Muestra	Número de contaminantes			
1	0	1	0	0	13	0	0	1	0
2	0	0	1	0	14	1	0	0	1
3	0	0	0	0	15	1	0	0	0
4	0	1	0	0	16	0	0	0	0
5	0	0	0	1	17	0	0	1	0
6	1	0	1	0	18	0	0	0	0
7	0	0	0	0	19	0	0	1	0
8	0	0	0	0	20	0	0	0	0
9	1	0	0	0	21	1	0	0	0
10	0	0	0	0	22	1	0	0	0
11	0	0	0	0	23	0	0	0	0
12	0	0	0	0	24	1	0	0	1

Los resultados del segundo estudio de capacidad con la mejora implementada (Figura 11) con un nivel de confianza de 95 %, indica que la tasa de defectos en la línea sigue una distribución Poisson. La gráfica U indica que el proceso es estable. El intervalo de confianza para el DPU (defecto por unidad) indica que puede estar el 95 % seguro de que la media de DPU se encuentra dentro de los límites, además de que se redujeron a 0.0161 y 0.0546. La

gráfica de defectos acumulado por unidad indica que el valor DPU es relativamente estable. La media estimada de DPU es de 0.0313 y se mantiene más cerca de 0, por lo tanto, esto indica que ahora un lente con defectos ocurre cada 32 lentes. Por lo que si hubo una reducción significativa en los contaminantes de los lentes manteniéndose dentro de los requisitos del departamento de control de calidad.

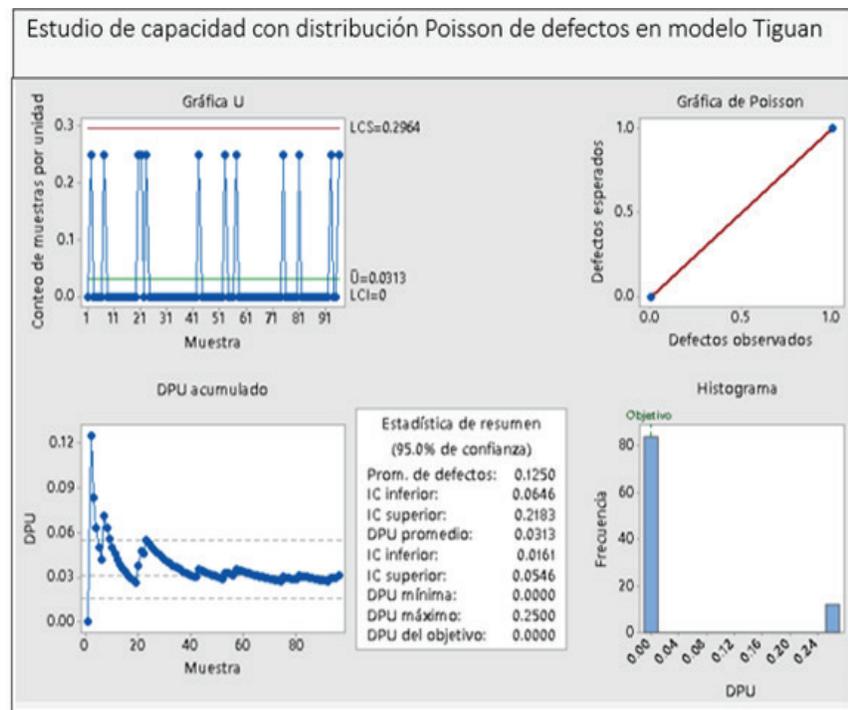


Figura 11. Estudio de capacidad de los contaminantes de los lentes (elaboración propia).

CONCLUSIONES

La implementación de las herramientas de Seis Sigma, (diagrama de Ishikawa, cartas de control, diseño de experimentos, análisis de capacidad), en el proceso del lente Tiguan de la empresa Tecnología de Iluminación Automotriz S.A de C.V, generaron beneficios en el proceso, mejorando la productividad con impacto en la calidad del producto al reducir el desperdicio.

Mediante el diseño de experimentos (DOE) y realizar varias corridas con el paño de alcohol y el aire ionizado, se pudo encontrar el mejor método de limpieza del lente, disminuyendo así la contaminación del producto sin desestabilizar el proceso, esto llevó a mejorar la productividad en un 88.18 % y cumplir así con los requerimientos del cliente en tiempo y forma. La reducción de desperdicios de acuerdo con los resultados del estudio fue del 44.65 %, minimizando la contaminación de los lentes en el modelo Tiguan.

La aplicación del estudio de capacidad con la distribución Poisson, proporcionó evidencias sufi-

cientes para comprobar que la diferencia de los contaminantes antes de la mejora era de un lente contaminado cada cuatro piezas y quedando con 1 lente contaminado cada 32 piezas después de la mejora, lo cual indica que hay una diferencia altamente significativa en la cantidad de producto contaminado.

Observando los resultados y beneficios obtenidos en el proceso del modelo Tiguan, gerencialmente se tomó la decisión de implementar esta metodología en el proceso de construcción de los lentes en todos sus modelos, y a la vez en las empresas de la corporación de Tecnología de Iluminación S.A. de C.V., con el objetivo de robustecer sus procesos para seguir vigentes y competitivos en el mercado global.

Seis Sigma no deben tomarse como una moda pasajera, sino como una herramienta valiosa para logro de la visión y estrategia de la empresa, siempre en la búsqueda de mejora continua en los procesos, pero sobre todo para la competitividad de las empresas en estos tiempos de constantes cambios dentro de la economía mundial.

BIBLIOGRAFÍA

- Arias Montoya, L., Portilla, L., Castaño Benjumea, J. A (junio, 2008). Aplicación de Six Sigma en las Organizaciones. *Scientia Et Technica*, vol. XIV, núm. 38. pp. 265-270. <http://www.Redalyc.org/oa?id=84903846>.
- Báez, Marino R., Presidente, MAR trading corp. Barnizado Ultravioleta FAQ. 2010. <http://www.mar-trading.com/Amjo/BarnizadoUltravioletaFAQ.html>
- Barrera García, A., Cambra Díaz, A., González González, J., (enero, 2017). Implementación de la metodología seis sigma en la gestión de las mediciones. *Revista Universidad y Sociedad*, vol. 9 , núm. 2, versión On-line ISSN 2218-3620), pp. 25-30. http://www.Scielo.sld.cu/scielo.php?scrip=sci_arttext&pid=S2218-36202017000020001
- Cariño G., Rubén (2002). Seis Sigma y la Capacidad del Proceso en Proyectos. *Tendencia Tecnológica*. Distrito Federal. México.
- Gutiérrez Pulido, Humberto (2004). *Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma*. McGraw Hill. Distrito Federal, México.
- Kuehl, Roberto (2001). *Diseños de Experimentos*. Matemáticas Thomson. Distrito Federal. México.
- Constanzo, Marcela Alejandra (2014). *Comparación de Modelos de Calidad Factores y Métricas en el ámbito de la ingeniería de software*. Universidad Nacional de la Patagonia Austral. Santa Cruz. Argentina.
- Manual Johnson Control: Mejora Continua. 2015
- Montgomery, Douglas (2004). *Diseño y análisis de experimentos*. Limusa Wiley, Distrito Federal, México.
- Morales Macedo, Jorge Antonio (2007). *Aplicación de la metodología Seis Sigma, en la mejora del desempeño en el consumo de combustible de un vehículo en las condiciones de uso del mismo*. Universidad Iberoamericana. Distrito Federal. México.
- Pérez Urrego, Martha Lucía (2014). *La capacidad de procesos como métricas de calidad para características cualitativas*. Universidad Politécnica de Valencia España. Valencia. España.
- Pérez Domínguez, L., Valenzuela José, Domínguez Vázquez I. (enero, 2017). "Manufactura Esbelta". *Conciencia Tecnológica*, vol.38 No. 53, pp. 23-28. Recuperado en <http://www.redalyc.org/revista>.
- Ruiz Arturo, Rojas Falcó (2009). *Introducción a Seis Sigma*, Universidad Pontificia ICAI ICADE Comillas. Madrid, España.
- Soporte de Minitab 18. Consideraciones Acerca de los Datos para Análisis de Capacidad de Poisson. 2017. <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/capability-analysis/how-to/capability-analysis/poisson-capability-analysis/before-you-start/data-considerations/>.
- Soporte de Minitab 18. Interpretar los Resultados Clave para Análisis de Capacidad Poisson. 2017. <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/capability-analysis/how-to/capability-analysis/poisson-capability-analysis/interpret-the-results/key-results/>.
- Valdez E., Mexicano A., Carmona J., Cervantes S., y Cervantes J. (2020). "Mejoramiento de un flujo de sistema de producción aplicando DMAIC: caso de estudio". Coloquio de investigación Multidisciplinaria (2020). Journal CM, Vol. 8, Núm. 1 en la mejora de resultados de los proyectos de construcción, España: Acribia, 2005.
- Veloso, Francisco y Rajiv Kumar (2002). "The Automotive Supply Chain: Global Trends and Asian Perspectives". ERD Working Paper Series No. 3 Economics and Research Department. Asian Development Bank, January.
- Yepes V. y Pellicer E. (2005). Aplicación de la metodología seis sigma en la mejora de resultados de los proyectos de construcción, España: Acribia.

Normas de publicación para los autores

*Ciencia en la Frontera: Revista de Ciencia y Tecnología de la
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez*

La publicación de *Ciencia en la Frontera: Revista de Ciencia y Tecnología de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez*, se inició en 1999 con el apoyo del Departamento de Ciencias Químico Biológicas de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez y la Coordinación Editorial del Dr. Luis Fernando Plenge Tellechea. Desde su inicio, la revista *Ciencia en la Frontera* ha incluido en su comité de revisores a docentes de instituciones con presencia nacional e internacional dando valor agregado a los manuscritos publicados en la revista.

La dependencia editora es por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, el Departamento de Ciencias Químico Biológicas.

Descripción de la revista

Ciencia en la Frontera: Revista de Ciencia y Tecnología de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez publica contribuciones originales e inéditas de investigación y divulgación, de interés en todos los ámbitos de las ciencias y la tecnología.

Comité Editorial

El Comité Editorial de la revista *Ciencia en la Frontera: Revista de Ciencia y Tecnología de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez* recibe propuestas de artículos sobre tópicos de ciencia en general para su publicación bajo dos modalidades: artículos de investigación originales y artículos síntesis de investigación (revisiones). Las normas establecidas para la publicación son las siguientes:

1. Los trabajos deberán ser de *calidad científica e inéditos*.
2. Una vez publicado el artículo, los derechos de autor pasan a la UACJ.
3. Los artículos pueden ser de investigación original y revisiones, los cuales deberán referirse a las áreas de ciencias naturales y exactas, ajustándose al dictamen del Comité Editorial, que evalúa la calidad de su contenido científico y decide sobre la pertinencia de su publicación.
4. Los trabajos pueden ser enviados para su publicación en idioma inglés o español. Los artículos deberán incluir resumen en español seguido de uno en inglés (y viceversa).
5. Los trabajos deben ajustarse al siguiente formato:

Título del trabajo, breve y conciso, menor a 120 caracteres (incluyendo espacios)

Un resumen del contenido en español de 150 palabras como máximo y un *abstract* en inglés

Nombre de los autores

Adscripción de todos los autores

La institución de adscripción de los autores participantes deberá incluirse como un pie de página comenzando con el número 1

Ej.: Ramírez, J. L.¹ y Martínez, R.²

¹ Universidad de Puebla, México.

² Universidad de Santiago Compostela, España.

Naturaleza del trabajo: artículo de investigación original; síntesis de investigación (revisión)

Dirección para correspondencia que incluya teléfono, fax y correo electrónico. El

nombre del autor al cual se dirigirá la correspondencia debe indicarse con un asterisco (*) y la leyenda "Autor para correspondencia".

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN ORIGINAL.

Deberá constar de las siguientes secciones:

- Introducción
- Método experimental. En el caso de presentar experimentos con animales vivos, anexar aprobación del Comité de Bioética de la institución de los autores
- Resultados y Discusión
- Conclusiones
- Bibliografía. Las referencias bibliográficas deben asentarse de la forma convencionalmente establecida en español, indicando estas en el cuerpo del texto con los apellidos del primer autor y año de publicación entre paréntesis, y los datos bibliográficos al final del escrito. La bibliografía se presenta al final del artículo por orden alfabético

Distribuir los datos de las referencias bibliográficas de la siguiente manera:

REFERENCIA DE LIBRO:

Apellidos, nombre del autor. *Título del libro*. Ciudad y país, Editorial. Número de páginas totales, año.

Ejemplo:

Foucault, Michel. *Las palabras y las cosas*. México: Siglo XXI. Pp. 30-45, 1984.

REFERENCIA DE CAPÍTULO LIBRO:

Apellidos, nombre del autor. Título del capítulo. En: Apellido e iniciales del editor (Ed.). *Título del libro*. Ciudad y país, Editorial. Páginas del capítulo, año.

Ejemplo:

Levine, F. Economic perspectives on the Comanchero trade. In: Spielmann, C. A. (Ed.). *Farmers, hunters and colonists*. Tucson, AZ: The University of Arizona Press, 155-169, 1991.

REFERENCIA DE REVISTA:

Apellido(s) del autor, inicial(es); otros autores (año). "Título del artículo". *Nombre de la revista*, volumen, páginas.

El título de la revista debe abreviarse según el Index Medicus journal abbreviations: <http://www.nlm.nih.gov/tsd/serials/lji.html>

Ejemplos:

Sagara, Y., Fernandez-Belda, F., De Meis, L. e Inesi, G. (1992). "Characterization of the inhibition of intracellular Ca^{2+} transport ATPases by thapsigargin". *J. Biol. Chem.*, 267, 12606-12613.

Rivas-Cáceres, R. (1999). "Médanos de Samalayuca. Un urgente reclamo, una estrategia emergente". *Ciencia en la Frontera*, 1, 29-32.

REFERENCIA DE PÁGINA ELECTRÓNICA

Se acepta la información proveniente de páginas de internet que tengan reconocido prestigio en la veracidad de sus datos y que esté respaldada por instituciones académicas o científicas; el formato para incluir la referencia es el siguiente:

Nombre del autor (año), título completo del artículo, dirección de la página electrónica. Fecha de consulta.

ARTÍCULO DE SÍNTESIS DE INVESTIGACIÓN (REVISIÓN)

Introducción. Se sugiere exponer enfáticamente la relevancia del tema de la revisión dentro de un área del conocimiento.

Desarrollo del tema y subtemas

Perspectivas. Analizar la síntesis expuesta con el planteamiento de los posibles descubrimientos o desarrollos dentro del área, e implicaciones de índole terapéutica, industrial o de impacto social.

Bibliografía. Conforme se ha expuesto para los artículos de investigación original

El manuscrito debe remitirse en formato de "Word"; la tipografía Arial de 12 puntos, con 1.5 de espacio entre renglones. La extensión del tra-

bajo deberá ser de un máximo de 30 cuartillas de texto.

Las figuras pueden ser ilustraciones, gráficas y fotografías; las figuras y los cuadros deberán referirse dentro del texto, enumerándose en el orden que se citan en el mismo, e indicar el programa de cómputo en el que están elaborados. Los cuadros deben separarse del texto del artículo y colocarse en un listado después de la bibliografía. Los pies de figura deberán ser explícitos sin necesidad de leer el texto principal y deberán incluirse en un listado después de los cuadros. Los archivos de las figuras, que pueden ser fotografías, ilustraciones y gráficas, deben enviarse aparte, indicando el título del trabajo y la secuencia (Figura 1, Figura 2, etcétera). Los archivos de las figuras deben ser menores a 2 MB.

EVALUACIÓN DE LA ORIGINALIDAD DEL MANUSCRITO Y COMBATE AL PLAGIO

La coordinación de *Ciencia en la Frontera* está comprometida con la originalidad de la investigación científica y de su difusión y divulgación; en consecuencia, nos preocupamos por verificar que no existe forma alguna de plagio, tanto en el uso de datos o resultados como en la redacción de los textos científicos. Para la detección de plagio en los textos remitidos, el Comité Editorial evaluará cada manuscrito de la siguiente forma:

-Mediante el *software* Plagiarism Checker (smallseotools.com/plagiarismchecker), se revisará por separado cada párrafo o fragmentos del manuscrito (de extensión máxima de mil palabras); el trabajo remitido iniciará el proceso de evaluación y dictamen cuando se alcance un parámetro de, al menos, 90 % de originalidad. En caso de detectarse un porcentaje menor, la Coordinación Editorial notificará al autor responsable, a fin de solicitar las modificaciones pertinentes.

SOBRE LA REMISIÓN DE ARTÍCULO Y EL PROCESO EDITORIAL

Remitir el original por correo electrónico a

ciencia.frontera@uacj.mx con atención al Comité Editorial.

En el texto del correo electrónico debe exponerse el título del artículo y los autores, y en archivos anexos deben incluirse:

Datos de contacto de tres revisores que dictaminarán la calidad del trabajo (los revisores deben ser de una institución diferente a la de los autores); las facultades, escuelas, institutos o centros de investigación de la misma universidad, se considerarán como una misma institución; los diferentes departamentos de una empresa también se considerarán como pertenecientes a la misma institución y, por lo tanto, no podrá incluirse a su personal como dictaminadores. Los datos de contacto son:

- Nombre completo del revisor
- Adscripción: Institución, dependencia, departamento, grupo de trabajo
- Correo electrónico
- Números de teléfono y fax
- Dirección con código postal

El Comité Editorial acusará recibo del trabajo mediante correo electrónico. No se extienden oficios por la recepción del manuscrito. La recepción del manuscrito no garantiza su publicación.

Posteriormente a un tiempo de dictamen de un mes máximo, el Comité Editorial remite, vía correo electrónico, el trabajo a sus autores para que realicen las modificaciones que hubiera con base en las acotaciones de los dictaminadores.

Los autores remitirán la segunda versión del manuscrito en un plazo máximo de dos semanas y el Comité Editorial acusa recibo mediante correo electrónico. En caso de no recibir la versión corregida en este plazo, el Comité se reserva el derecho de descartar la publicación y su posterior remisión se considerará como un nuevo proceso.

No se emitirán oficios por la recepción de los trabajos corregidos.

Posteriormente a la recepción del artículo en su versión definitiva, el Comité Editorial emite un acuse de recibo por correo electrónico y anuncia-

rá el proceso de revisión de galeras y publicación. Durante este, el Comité Editorial trabaja en conjunto con la Subdirección de Editorial y Publicaciones de la UACJ.

No se emiten oficios por cada artículo aceptado para su publicación.

Cada fascículo se incluye en la página de publicaciones periódicas de la UACJ bajo la dirección:

<http://www2.uacj.mx/Publicaciones/cienciaenlafrontera/default.htm>

La versión impresa de cada fascículo se procesa por la Subdirección de Editorial y Publicaciones.

Descripción del arbitraje

El Comité Editor revisa las propuestas recibidas evaluando el valor científico; si dicho parámetro es aceptable, se establece un Comité de Revisores compuesto de, al menos, dos pares expertos en el área temática del trabajo en cuestión; una vez evaluado por los pares expertos, el Comité Editor toma la decisión sobre la aceptación o no del manuscrito para su publicación.