ABANICO BOLETIN TECNICO Vol. 4 ENERO-DICIEMBRE 2025 ISSN 3061-8452

Abanico
Boletín Técnico®

Abanico Boletín Técnico. Es una revista de investigación y difusión del conocimiento que aborda temas de la salud animal, producción animal, pesca, acuícola, agrícola, forestal, ambiente, educación, industrialización, comercialización y otros temas relacionados; de acceso abierto, digital y en línea.

https://abanicoacademico.com/abanicoboletintecnico/index

Abanico Boletín Técnico.

Es una revista digital arbitrada de investigación y difusión del conocimiento que aborda temas de la salud animal, salud pública, producción animal, biodiversidad, agrícola, forestal, ambiente, educación, industrialización y comercialización, pesca, acuícola, del mar y otros temas relacionados. Se trabaja bajo el sistema de publicación continua, de ciencia abierta en acceso y arbitraje.

Se publican artículos de investigación, notas de investigación, casos clínicos, estudios de casos, revisiones de literatura, descripción de cultivares, desarrollos tecnológicos y memorias de congreso. El uso de la información contenida en esta revista es responsabilidad de cada persona. Por ser una revista de acceso abierto los autores pagarán $1,160.00 pesos mexicanos para gastos contables, arbitraje, edición, publicación, DOI y pagos fiscales. Enviar archivo Word, carta de originalidad, responsabilidad y cesión de derechos.

Su página web y correo

https://abanicoacademico.com/abanicoboletintecnico

abanicoboletin@gmail.com

CINTILLO LEGAL

Abanico Boletín Técnico, Año 4, Volumen 4, Enero-Diciembre 2025, es una Publicación continua, editada por Sergio Martínez González, Calle Tezontle 171, Colonia El Pedregal, Tepic, Nayarit, México, C.P. 63164, Tel 01 311 1221626, www.abanicoacademico.mx, abanicoboletin@gmail.com Editor responsable: Esperanza Herrera Torres. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2023-092611454300-102, ISSN: 3061-8452, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, Ing. Sergio A Martínez Orozco, Mina 262, Col. Centro, Tepic, Nayarit, México, C.P. 63000, fecha de la última modificación, 05-06-2025.

Abanico Boletín Técnico, Año 4, Volumen 4, Enero-Diciembre 2025

Contenido

Artículos de Investigación

Uso de residuos agroindustriales de *Cannabis spp*. en dietas para ganado bovino. 4

Aislamiento de bacterias de leche de cabras con elevados conteos de células somáticas. 11

Evaluación de rebrotes como respuesta de restauración de un bosque de encino-pino impactado por incendios forestales. 22

Validación externa de la idoneidad relativa para estimar la distribución potencial de *Pinus lagunae*. 37

Características fisicoquímicas e índices de cosecha de *Agave cupreata.* 55

Revisión de Literatura

Importancia del bienestar animal en la ganadería: mejorando la salud y la productividad. 62

Abanico Boletín Técnico. ISSN: 3061-8452.
https://abanicoacademico.com/abanicoboletintecnico/index
abanicoboletin@gmail.com

Abanico Boletín Técnico. Enero-Diciembre, 2025; 4:1-7.
Artículo Original. e2025-1.

Uso de residuos agroindustriales de *Cannabis* spp. en dietas para ganado bovino

Use of agro-industrial residues of *Cannabis* spp. in diets for cattle

Araiza-Rosales Esther*[1] [ID], Herrera-Torres Esperanza[2] [ID], Pámanes-Carrasco Gerardo[3] [ID], Murillo-Ortiz Manuel[4] [ID], Reyes-Jáquez Damián[5] [ID]

[1]Universidad Juárez del Estado de Durango. CONAHCYT-UJED-Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Durango, México. [2]Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana. Durango, México. [3]Universidad Juárez del Estado de Durango. CONAHCYT-UJED- Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera. Durango, México. [4]Universidad Juárez del Estado de Durango. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Durango, México. [5]Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Durango. Durango, México. *Autor por correspondencia: Araiza-Rosales Elia Esther. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Carretera Durango-El Mezquital km 11.5. Durango, Durango, México. E-mail: e_araiza2002@hotmail.com, hetoes99@yahoo.com.mx, gerardo.pamanes@gmail.com, manuelmurillo906@gmail.com, damian.reyes@itdurango.edu.mx

RESUMEN

Este trabajo evaluó el efecto de la inclusión de pélets elaborados a base de residuos agroindustriales de *Cannabis spp.* en las características nutricionales de dietas experimentales para la alimentación de bovinos en engorda, para lo que se formularon cuatro dietas experimentales con la inclusión de 0, 5, 10 y 15% de pélets (D1, D2, D3 y D4, respectivamente). Se determinó el contenido de proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE), cenizas (Cen), digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS), fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA), hemicelulosa, celulosa y lignina. La adición de 15% de pélets disminuyó el 8% el contenido de proteína cruda comparada con D1 ($p<0.05$). De manera similar, se disminuyeron los contenidos de FDN, FDA, celulosa y hemicelulosa ($p<0.05$); sin embargo, la concentración de lignina no se vio afectada por la inclusión de pélets en las dietas experimentales ($p>0.05$). Por el contrario, en la D4 se observó un incremento de 11% en la DIVMS comparada con D1 ($p<0.05$). De acuerdo a los resultados se concluye que la inclusión de pélets con residuos agroindustriales de *Cannabis spp* como sustituto de GSDD mejora las características nutricionales en dietas experimentales.
Palabras clave: contenido nutricional, pélets, DIVMS, alimentación alternativa.

ABSTRACT

This study evaluated the inclusion of pellets based on agroindustrial residues of *Cannabis spp*. in the nutritional characteristics of experimental diets elaborated for feeding of beef cattle. Thus, four experimental diets were formulated with the inclusion of 0, 5, 10 and 15% of pellets for D1, D2, D3 and D4, respectively. In addition, crude protein (PC), ether extract (EE), ashes (Cen), *in vitro* digestibility, neutral and acid detergent fibers (NDF and ADF) as well as cellulose and hemicellulose were determined. The addition of pellets decreased crude protein 8% in D4 compared with D1 ($p<0.05$). Similarly, inclusion of pellets decreased the contents of FDN, FDA, cellulose and hermicellulose ($p<0.05$); however, lignin was not affected ($p>0.05$). Otherwise, inclusion of pellets into experimental diets increased in vitro digestibility 11% in D4 compared with D1($p<0.05$). The inclusion of pellets made of agroindustrial residues of Cannabis spp. As substitute of GSDD improves nutritional characteristics of experimental diets.
Keywords: nutritional content, pellets, DIVMS, alternative feedings.

INTRODUCCIÓN

En gran parte de México la cría de ganado bovino se desarrolla principalmente en el sistema extensivo (Gallardo *et al*., 2006; Méndez *et al*., 2009). Sin embargo, con el

objetivo de incrementar la ganancia de peso en un menor tiempo, es necesario introducir granos y concentrados en la dieta, lo que ocasiona un aumento en los costos de alimentación. Debido a esto, se han buscado estrategias que permitan la incorporación de esquilmos y desechos agrícolas, así como plantas locales que no son empleadas normalmente como fuente de alimentación animal. Lo anterior obedece a la necesidad de alimentar animales en zonas áridas en donde existe una limitación de forraje, además de no representar una competencia entre la alimentación humana y animal (Pámanes *et al*., 2019). Existe una amplia gama de recursos que pueden ser utilizados para lograr una alimentación sostenible y más eficiente en la producción animal (Savón, 2002). Una de las alternativa utilizadas ha sido el follaje obtenido de los árboles, el cual cuenta con una buena calidad nutricional y mejor digestibilidad, lo que hace posible que sea utilizado como fuente de alimentación de los rumiantes en zonas donde existe escasez de forraje (Araiza *et al*., 2022), estos mismos autores han sugerido el uso de residuos de Cannabis sativa producidos por la extracción de sus compuestos canabinoides, además de que se están generando estos residuos por el incremento en esta industria, por lo que es necesario evaluar la composición química y digestibilidad *in vitro* de dietas que contengan diferentes dosis de residuos de *Cannabis spp*.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se desarrolló en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango, ubicada en carretera Durango-El Mezquital km. 11.5 Latitud norte 24° 10' 00'', longitud oeste 104° 40' 00'' a una altitud de 1890 msnm con un clima tipo BS1 (w)(e), templado seco con lluvias en verano y una precipitación media anual de 450 mm y temperatura promedio de 17.5 °C.

Materia prima

Se utilizaron residuos vegetales de la flor de *Cannabis* spp*.* provenientes de un proceso industrial de extracción de cannabinoides por extracción alcohólica, mismos que fueron donados por el Instituto de Investigación para el aprovechamiento del *Cannabis* A.C. en el Estado de Durango.

Elaboración del pélet y formulación de dietas

Se elaboró un pélet con una concentración de residuos vegetales de la flor de *Cannabis* spp., al 40% (m/m) y se complementó con otros ingredientes como harina de maíz, melaza en polvo, harina de soya y carbonato de calcio grado alimenticio para alcanzar una concentración de proteína cruda del 28%. El proceso de peletizado se llevó a caboen una peletizadora Mill modelo ZSLP-R300 de matriz plana, la cual cuenta con una capacidad de 250-350 kg/h, a 55 °C,y una humedad entre 12-14%; la forma del pélet es cilíndrica con un diámetro de 6 mm. Además, se formularon 4 dietas experimentales con la inclusión del pélet en porcentajes de 0, 5, 10 y 15 % y balanceadas al 13% de PC,

para D1, D2, D3 y D4, respectivamente (Cuadro 1); las dietas fueron balanceadas para cumplir con los requerimientos nutricionales del ganado bovino de engorda (NRC, 2016).

Composición química

Las dietas experimentales fueron sujetos de análisis de contenidos de materia seca (MS, #930.15), extracto etéreo (EE, #920.23), cenizas (Cen, #924.05) y proteína cruda (PC, #990.03), de acuerdo con procedimientos estandarizadas por la AOAC (2023). Los componentes de la pared celular (fibra detergente neutra, FDN; fibra detergente ácida, FDA; Hemicelulosa, Celulosa y Lignina en detergente ácido, LAD) se determinaron con el equipo ANKOM Fiber Analyzer (ANKOM Technologies, USA) y de acuerdo con los cálculos propuestos por Van Soest *et al.* (1991). La determinación de la digestibilidad verdadera *in vitro* (DIVMS) se determinó por incubación de las muestras durante 48 h a 39 ± 0.5 °C, con líquido ruminal y saliva artificial, en un incubador Daisy II (Ankom Technology Corp., Macedon, Ny) siguiendo la técnica sugerida por el fabricante (ANKOM, 2008).

Cuadro 1. Dietas experimentales con la inclusión de pélets elaborados a base de residuos de *Cannabis* spp

Ingredientes/Dietas	D1	D2	D3	D4
Alfalfa	20	20	20	20
Rastrojo de maíz	30	30	30	30
GSDD	20	15	10	5
Maíz molido	29	29	29	29
Minerales	1	1	1	1
Pelet	0	5	10	15
Proteína cruda	13.33	13.33	13.33	13.33

GSDD= grano seco de destilería.

Análisis Estadístico

Se realizó una prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. Los resultados fueron analizados con un diseño completamente al azar y se llevó a cabo una comparación de medias con la prueba de Tukey declarando diferencias con una $p<0.05$ utilizando el paquete estadístico del SAS (SAS, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición química de las dietas experimentales

En el Cuadro 2 se muestran los resultados obtenidos en el análisis químico proximal. Los resultados muestran diferencias en el contenido de proteína cruda, cenizas, FDN, FDA, celulosa, hemicelulosa y DIVMS ($p<0.05$). La PC mostró decrementos a medida que incrementaban las concentraciones de pélets en las dietas experimentales ($p<0.05$); en

D4 se alcanzó el máximo decremento del 8% con la inclusión de 15% pélets en la dieta. No obstante, se cumple con el valor mínimo recomendado por la NRC para ganado en crecimiento que es de 13%. De igual manera, López (2017) reporta contenidos de PC con un valor menor de 13.16% con características nutricionales de pelets elaborados con subproductos agropecuarios. En general, los contenidos de PC de las dietas experimentales presentaron valores superiores a 8%, el cual es el mínimo establecido para un crecimiento microbiano óptimo en el rumen (Van Soest, 1994).

Cuadro 2. Composición química y digestibilidad *in vitro* de la materia seca de las dietas experimentales

Variables (%, MS)	D1	D2	D3	D4	EED
PC	13.6 ± 0.33^{ab}	14.5 ± 0.05^{a}	13.2 ± 0.12^{b}	12.6 ± 0.35^{b}	0.17
EE	2.2 ± 0.36^{a}	2.2 ± 0.08^{a}	1.9 ± 0.05^{a}	1.8 ± 0.08^{a}	0.13
Cen	6.3 ± 0.22^{b}	7.2 ± 0.16^{a}	7.2 ± 0.60^{ab}	8.4 ± 0.18^{a}	0.24
FDN	55.5 ± 1.14^{a}	51.4 ± 0.21^{b}	50.2 ± 1.12^{b}	50.0 ± 0.66^{b}	0.55
FDA	29.4 ± 0.22^{a}	28.0 ± 0.08^{b}	27.8 ± 0.13^{b}	28.0 ± 0.03^{b}	0.09
HEM	26.1 ± 0.91^{a}	23.3 ± 0.29^{ab}	22.1 ± 0.98^{b}	22.1 ± 0.63^{b}	0.51
CEL	26.2 ± 0.26^{a}	24.9 ± 0.07^{b}	24.7 ± 0.09^{b}	24.8 ± 0.01^{b}	0.10
LIG	1.9 ± 0.21^{a}	1.4 ± 0.20^{a}	1.5 ± 0.04^{a}	1.3 ± 0.09^{a}	0.11
DIVMS	59.0 ± 1.11^{c}	60.1 ± 0.62^{c}	62.4 ± 0.25^{b}	65.5 ± 0.25^{a}	0.46

^{abc} Medias con letras diferentes en la misma fila indican diferencias estadísticas ($p<0.05$); PC= proteína cruda; EE= extracto etéreo; Cen= cenizas; FDN= fibra detergente neutra; FDA= fibra detergente ácida; HEM= hemicelulosa; CEL= celulosa; LIG= lignina; DIVMS= digestibilidad *in vitro* de la materia seca; EED= error estándar de la diferencia entre medias.

Por su parte, los contenidos de EE fueron similares entre tratamientos ($p>0.05$). En promedio, el contenido de EE en las cuatro dietas fue de 2%, siendo este un valor adecuado para favorecer la digestión de la fibra de los forrajes; el valor máximo que impediría la digestión de fibras es del 5% (Plascencia *et al*., 2005). Este aspecto es considerado de mucha importancia, ya que un exceso de ácidos grasos insaturados en la dieta genera efectos tóxicos en las bacterias Gram positivas, metanogénicas y protozoos, lo cual afecta de manera directa la digestibilidad de los alimentos, así como en la salud microbiana del rumen (Palmquist, 1996).

Por otra parte, los contenidos de Cen fueron diferentes entre tratamientos ($p<0.05$). Este parámetro incrementó a medida que se incrementaba la concentración de pélets en las dietas experimentales. En D4 se incrementó hasta un 33%, como resultado de la sustitución del contenido de minerales en los pélets y su bajo contenido en los GSDD.

Sin embargo, Cabrera *et al.* (2016) mostró contenidos de ceniza más altos en residuos agroindustriales.

Los contenidos de FDN y FDA fueron diferentes entre tratamientos; disminuyeron a medida que se aumentaba el contenido de pélets en las dietas experimentales ($p<0.05$). De la misma manera, los contenidos de celulosa y hemicelulosa también disminuyeron con el incremento de pélets ($p<0.05$). Los contenidos de FDN y hemicelulosa fueron, de manera coherente, los más afectados, ya que su concentración se redujo hasta un 10 y 15%, respectivamente. De acuerdo con Van Soest (1991), los valores de fibras registrados en estas dietas se encuentran dentro de los rangos óptimos (menores a 60% de FDN), lo cual permite una adecuada digestión de los nutrientes y se promueve el consumo de forrajes. Por su lado, Fernández (2012) menciona que la fibra se define nutricionalmente como el conjunto de componentes vegetales de baja digestibilidad y que promueven la rumia y el equilibrio ruminal. No obstante, la lignina no sufrió cambios con el incremento de pélets en las dietas experimentales.

Por otro lado, la DIVMS aumentó a medida que se incrementaba la concentración de pélets en las dietas experimentales ($p<0.05$). La inclusión de pélets en las dietas D3 y D4, aumentó la DIVMS hasta un 11%. Este resultado es lógico y esperado hasta cierto punto, ya que los carbohidratos estructurales de la pared celular disminuyeron, lo cual influye en que haya una mayor degradación de nutrientes. Araiza *et al.* (2023) mencionan que los residuos obtenidos de *Cannabis sativa* L. después de la extracción alcohólica ofrecieron una mejor utilización de nutrientes por los microorganismos presentes en la fermentación ruminal, lo que condujo a un aumento de la digestibilidad.

CONCLUSIONES

La inclusión de pélets con residuos agroindustriales de *Cannabis spp* como sustituto de GSDD mejora las características nutricionales en dietas experimentales. Además, las dietas experimentales cumplen con las necesidades nutricionales para la alimentación de ganado bovino en engorda.

LITERATURA CITADA

ARAIZA RE, Pámanes CG, Sánchez AJ, Herrera TE, Rosales CM, Carrete CF. 2022. Caracterización nutricional y producción de gas de especies vegetales con potencial alimenticio para la alimentación de rumiantes. *Revista MVZ Córdoba*. 27(2): 1-10. https://doi.org/10.21897/rmvz.2142

ARAIZA RE, Herrera TE, Carrete CF, Jiménez OR, Gómez SD, Pámanes CG. 2023. Concentraciones de nutrientes, digestibilidad *in vitro* y fermentación ruminal de residuos agroindustriales de *Cannabis sativa L*. como fuente potencial de forraje para rumiantes. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 14(2): 366-383. https://doi.org/10.22319/rmcp.v14i2.6188

AOAC (Association of Official Analytical Chemistry). 2023. International. Official Methods of Analysis. 22nd ed. The Association of Official Analytical Chemists: Arlington, Va. Vol. II. https://doi.org/10.1093/9780197610145.001.0001

ANKOM. 2008. RF Gas production system operator's manual. ANKOM Technology, USA. https://www.ankom.com/sites/default/files/document-files/RF_Manual.pdf
BACH A, Casamiglia S. 2006. La fibra de los rumiantes: ¿Química o Física?. XXII Curso de especialización FEDNA. Barcelona, España. Pp. 99-113. https://produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/100-fibra_en_rumiantes.pdf

CABRERA RE, León FV, Montano PAC, Dopico RD. 2016. Caracterización de residuos agroindustriales con vistas a su aprovechamiento. *Centro Azúcar*. 43(4): 27-35. http://centroazucar.uclv.edu.cu

FRANCESA U. 2017. La fibra en forrajes tropicales. parte 1: factores que afectan su digestibilidad. *Sitio Argentino de Producción Animal*. https://www.produccion-animal.com.ar/tablas_composicion_alimentos/149-Fibra_en_Forrajes_Tropicales.pdf

FERNANDEZ M. 2012. Función de la fibra en la alimentación. *Mundo ganadero*. Marzo/Abril.
https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_MG/MG_2012_245_60_64.pdf

GALLARDO JL, Luna ME, Albarrán DM. 2006. Situación actual y perspectiva de la producción de carne de bovino en México. Coordinación General de Ganadería. Secretarıa de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. http://www.sagarpa.gob.mx/Dgg

LÓPEZ VD. 2017. Caracterización bromatológica de pellets elaborados a partir de subproductos agropecuarios para la alimentación de bovinos. *Tecnología en Marcha* 4: 73-81.
https://doi.org/10.18845/tm.v30i5.3226

MAC LOUGHLIN RJ. 2010. Requerimientos de proteína y formulación de raciones en bovinos para carne. *Sitio Argentino de Producción Animal*. 1-6. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/invernada_o_engorde_en_general/42-formulacion_proteina.pdf

MENDEZ RD, Meza CO, Berruecos JM, Garces P, Delgado EJ, Rubio MS. 2009. A survey of beef carcass quality and quantity attributes in Mexico. *Journal of Animal Science*. 87: 3782–90. https://doi.org/10.2527/jas.2009-1889

NAVA CC, Díaz C. 2001. Introducción a la digestión ruminal. *Sitio Argentino de Producción Animal*. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/79-introduccion_a_la_digestion_ruminal.pdf

NRC (National Research Council). 2001. National Research Council. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th Ed. (Rev). National Academy Press. Washington D.C. USA. Pp. 401.

PALMQUIST DL. 1996. Utilización de lípidos en dietas de rumiantes. En Eds.: PG Rebollar, GG Mateos, C de Blas. XII Curso de Especialización FEDNA: Avances en Nutrición y Alimentación Animal. Department of Animal Sciences OARDC/OSU, Wooster, Ohio, USA. http://fundacionfedna.org/sites/default/files/96CAP_III.pdf

PÁMANES CG, Herrera TE, Murillo OM, Reyes JD. 2019. Climate change mitigation in livestock produciton: nonconventional feedstuffs and alternative additives. En: Abubakar M, Livestock Health and Farming. London, UK: IntechOpen publishers. http://doi.org/10.5772/intechopen

PLASCENCIA A, Mendoza MGD, Vásquez PC, Zinn RA. 2005. Factores que influyen en el valor nutricional de las grasas utilizadas en las dietas para bovinos de engorda en confinamiento: Una revisión. *Interciencia*. 30:134-142. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442005000300006

SAS Institute 2011. tatistical Analysis Software SAS/STAT®. version 9.3, Cary, N.C., USA: SAS Institute Inc. ISBN 978-1-60764-896-3. http://www.sas.com/en_us/software/analytics/stat.html#

SAVÓN L. 2002. Alimentos altos en fibra para especies monogástricas. Caracterización de la matriz fibrosa y sus efectos en la fisiología digestiva. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola.* 36(2): 91-102. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193018119001

VAN SOEST PJ, Robertson JB, Lewis BA. 1991. Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *Journal of Dairy Science.* 74(10): 3583–3597. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2

Abanico Boletín Técnico. ISSN: 3061-8452.
https://abanicoacademico.com/abanicoboletintecnico/index
abanicoboletin@gmail.com

Abanico Boletín Técnico. Enero-Diciembre, 2025; 4:1-11.
Artículo Original. e2024-38.

Aislamiento de bacterias de leche de cabras con elevados conteos de células somáticas

Isolation of bacteria from goat milk with high somatic cell counts

Barrón-Bravo Oscar[1] ID, Ángel-Sahagún César*[2] ID, Valencia-Posadas Mauricio[2] ID, Avilés-Ruiz Ricardo[1] ID, Alcalá-Rico Juan[1] ID, Arispe-Vázquez, José[3] ID

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional Noreste, Campo Experimental Las Huastecas, Altamira, Tamaulipas, México. [2]Universidad de Guanajuato. Departamento de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Irapuato, Guanajuato, México. [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuaria, Campo Experimental Iguala, Iguala de la Independencia Guerrero, México. *Autor de correspondencia: Ángel-Sahagún César. E-mail: barron.oscar@inifap.gob.mx, csahagun@ugto.mx, posadas@ugto.mx, aviles.ricardo@inifap.gob.mx, alcala.juan@inifap.gob.mx, arizpe.jose@inifap.gob.mx

Resumen

Las infecciones causadas por bacterias son un grave problema en la producción de leche de cabra, causando enfermedades como la mastitis, por lo que el objetivo es determinar cuáles son las principales bacterias que afectan sobre las cabras de un rebaño en Apaseo el Grande y sus relaciones con el conteo de células somáticas. Las muestras de leche se tomaron en Apaseo el Grande, Guanajuato, México, de un rebaño de 300 cabras, fueron seleccionadas 15 cabras con signos de mastitis, las muestras se transportaron al Laboratorio de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de Guanajuato, durante los meses agosto del 2011 a junio del 2012. Para el análisis bacteriológico se realizó la Prueba California para Mastitis, el Recuento de Unidades Formadoras de Colonias, Prueba de catalasa y Tinción de Gram, los medios selectivos Chromagar, Agar Baird Parker y Agar Sangre y Pruebas de susceptibilidad antimicrobiana sobre agar Mueller-Hinton. En total 9 muestras fueron las que tuvieron crecimiento y en los aislamientos la bacteria más frecuentemente encontrada fue *Staphylococcus aureus* y en menor frecuencia *Staphylococcus saprophyticus* y *Bacilus cereus*. En el antibiograma se observó que varias muestras presentaron resistencia a alguno de los antibióticos. El principal patógeno presente en la leche fue *Staphylococcus aureus*, y tienen relación con el conteo de células somáticas.

Palabras clave: infecciones, mastitis, *Staphylococcus,* antibiograma.

Abstract

Infections caused by bacteria are a serious problem in goat milk production, causing diseases such as mastitis, so the objective is to determine which are the main bacteria that affect the goats of the Apaseo el Grande and their relationships with the somatic cell count. The milk samples were taken in Apaseo el Grande, Guanajuato, Mexico, from a flock of 300 goats, 15 goats with signs of mastitis were selected, the samples were transported to the Veterinary Medicine and Animal Husbandry Laboratory of the University of Guanajuato, during the months of August 2011 to June 2012. For the bacteriological analysis, the California Mastitis Test, the Colony Forming Unit Count, the Catalase Test and Gram Stain, the selective media Chromagar, Baird Parker Agar and Blood Agar and antimicrobial susceptibility tests on Mueller-

Hinton agar were performed. In total, 9 samples had growth and the most frequently found bacteria in the isolates was Staphylococcus aureus and, less frequently, Staphylococcus saprophyticus and Bacillus cereus. In the antibiogram, it was observed that several samples were resistant to one of the antibiotics. The main pathogen present in the milk was Staphylococcus aureus, and it is related to the somatic cell count.
Keywords: infections, mastitis, Staphylococcus, antibiogram.

INTRODUCCIÓN

La leche de cabra, al igual que la bovina es frecuentemente invadida por microorganismos patógenos, incluyendo aquellos adquiridos por contaminación primaria, o secundaria (Jayarao *et al*., 2006; Araya *et al*., 2008). Dentro de los microorganismos asociados a contaminación primaria, se destacan *Staphylococcus aureus* y los enterococos, además asociados a contaminación secundaria la lista de patógenos es bastante extensa, destacándose *Escherichia coli, Salmonella* y *Listeria monocytogenes* entre otros (De Buyser *et al*., 2001). No obstante, lo anterior, es importante destacar que, a diferencia de la leche de vaca, los estándares microbiológicos para la producción y distribución de leche de cabra son más laxos (Muehlherr, 2003; Araya *et al*., 2008). Villanueva & Morales (2017), mencionan que los microorganismos más importantes causantes de mastitis en vacas son *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus agalactiae*, *Enterobacter aerogenes*, *Enterobacter cloacae*, *Bacillus* sp, *Bacillus subtilis*, *Citrobacter freundii*, entre otros. En su estudio *Staphylococcus aureus* presentó resistencia a Penicilina, y *Streptococcus agalactiae* a Cefalexina, Penicilina, y Cefalotina.

La infección por *Streptococcus* spp*.* en cabras es rara lo que contrasta con el ganado bovino. En las infecciones causantes de mastitis se han estudiado los patógenos relacionados en la leche de cabra, normalmente se ha encontrado *Staphylococcus* spp*.* con porcentajes hasta de 59% *(Staphylococcus aureus* 17%*, Staphylococcus epidermidis* 14%*, Staphylococcus capitis* 13%, *Staphylococcus hyicus* 11%), además de 30% para *Bacillus* spp*.,* 4% *Coliformes* spp., 3% *Micrococcus* spp*.,* 2% *Streptococcus* spp., 1% *Corynebacterium* spp*.,* 1% *Pseudomonas* spp. y algunos autores señalan también *Micoplasma* spp*.* con 2-9% (Kalogridou-Vassiliadou, 1991; Haenlein, 2002). El cuadro 1 muestra las especies de *Staphylococcus* encontradas por diferentes autores. La mastitis causada por *S. aureus* es de difícil control, hasta la fecha, el éxito del control se adquiere sólo a través de la prevención de las nuevas infecciones y el sacrificio de animales infectados que no responden a los tratamientos. *S. aureus* coloniza la punta del pezón y causa lesiones, la infección puede ocurrir a través de las manos del ordeñador, paños, pezoneras, y las moscas. Durante el ordeño irregular las fluctuaciones del vacío pueden transportar a las bacterias hasta el canal del pezón, lo que lleva a la posibilidad de una nueva infección (Poutrel *et al.*, 1997; Petersson-Wolfe *et al.*, 2010).

Cuadro 1. Miembros del género Staphylococcus spp. encontrados en cabras por diferentes autores

Staphylococcus spp.	REFERENCIAS	*Staphylococcus* spp.	REFERENCIAS
S. aureus	1,2,3,4,5,6	*S. hyicus*	1,4,6
S. auricularis	4	*S. intermedius*	1,4,6
S. arlettae	6	*S. lentus*	1,3,4,6
S. capitis	1,3,4,6	*S. lugdunensis*	2,4,6
S. caprae	1,2,3,4,5,6	*S. saprophyticus*	1,4,6
S. chromogenes	2,3,4,5,6	*S. simulans*	1,2,4,5,6
S. cohnii	1,2,3,4,6	*S. scuri*	3,4,6
S. epidermidis	1,2,3,4,5,6	*S. warneri*	3,4,6
S. haemoliticus	1,3,4,6	*S. xilosus*	2,3,4,5,6
S. hominis	1,2,3,4,6		

NUMERACIÓN

(1) Kalogridou-Vassiliadou, (1991)	(4) Contreras *et al.* (2003)
(2) De Cremoux, (1995)	(5) Leitner *et al*. (2004)
(3) Contreras *et al*. (1999)	(6) Rainal-Ljutovac K. *et al.* (2007)

Generalmente *S. aureus* produce mastitis crónica, rara vez clínica, es principalmente subclínica, lo que eleva el conteo de células somáticas (CCS), pero no se detectan cambios en la leche o la ubre. Las bacterias son contagiosas y persisten en la glándula mamaria, conductos del pezón, y las lesiones del pezón de vacas infectadas. Las infecciones por *S. aureus* no responden bien a la terapia de antibióticos (Petersson-Wolfe *et al*., 2010). La bacteria *S. aureus* produce toxinas que destruyen la membrana celular y los tejidos que producen la leche. Inicialmente, las bacterias dañan los tejidos de revestimiento de los pezones y cisternas de la glándula, que finalmente conduce a la formación de tejido cicatricial, posteriormente se desplazan hacia el sistema de conductos y establecen puntos profundos de infección en las células de secreción de leche (alvéolos). Esto es seguido de la formación de abscesos que encapsulan la bacteria y evitan la propagación, pero también la detección por el sistema inmunológico. Los abscesos también evitan que los antibióticos lleguen a las bacterias y son la razón principal por la que la respuesta al tratamiento es pobre (Paape & Capuco, 1997). Las bacterias pueden escapar de los efectos letales de algunos antibióticos, escondiéndose dentro de los neutrófilos y otras células huésped. Los neutrófilos intentan eliminar las bacterias, muchas sobreviven y se vuelven latentes en su interior, evitando el contacto con antibióticos. Cuando los glóbulos blancos mueren (en uno o dos días) las bacterias se liberan y reanudan el proceso de infección (Petersson-Wolfe *et al*., 2010). Durante la

infección, la destrucción de alvéolos, ductos, además de las células, conduce a la reducción de la producción de leche. Estas células dañadas pueden unirse con los leucocitos y obstruir los conductos de la leche, lo que contribuye a la formación de tejido cicatricial, la oclusión de los conductos y la disminución de la producción leche. Los conductos pueden volver a abrir en un momento posterior, pero usualmente resulta en una liberación de organismos de *S. aureus* a otras áreas de la glándula mamaria. La difusión de abscesos de *S. aureus* en la glándula puede llegar a ser muy grande y detectable como protuberancias dentro de la ubre (Paape & Capuco, 1997; Bergonier *et al.*, 2003). El rebaño muestreado no cuenta con pruebas bacteriológicas anteriores y aunque se sabe que S. *aureus* es el principal agente patógeno causante de la mastitis en cabras es necesario realizar la identificación de las bacterias para un mejor tratamiento y medidas de control y prevención. El objetivo es determinar cuáles son las principales bacterias que afectan sobre las cabras de un rebaño en Apaseo el Grande y sus relaciones con el conteo de células somáticas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Toma de muestras

El estudio se realizó durante los meses de agosto del 2011 a junio del 2012 en el estado de Guanajuato, México. La toma de muestras de leche de cabra en una unidad de producción localizada en el municipio de Apaseo el Grande, el cual se localiza entre los paralelos 20° 28’ y 20° 44’ de latitud norte y los meridianos 100° 28’ y 100° 46’ de longitud oeste con una altitud entre 1 700 y 2 400 metros sobre el nivel del mar, tiene un rango de temperatura de 14 a 20°C y un rango de precipitación anual de 500 a 800 mm, el clima va del semiseco semicálido al semicálido subhúmedo con lluvias en verano (INEGI, 2010). El rebaño cuenta con alrededor de 300 cabras, de las cuales 150 se encuentran en ordeña, se mantiene en un sistema de producción intensivo, con una dieta en base a alfalfa, concentrado comercial y son suplementadas con vitaminas y minerales, cuentan con sistemas de ordeño automáticos y salas de ordeño de modelo paralelo. Las muestras de leche fueron recolectadas de 15 cabras con signos de mastitis, por ordeño manual, después de la limpieza de los pezones, descartando los primeros chorros de leche, y la limpieza de la punta del pezón con torundas de algodón humedecido con alcohol al 70%. De las 15 cabras muestreadas 7 fueron positivas a la Prueba California para Mastitis en el muestreo, todas solamente de un medio de la ubre. Una de las cabras muestreadas con síntomas de mastitis clínica fue tratada previamente (cabra 6). Todas las muestras fueron transportadas en frío a 4±1°C, las pruebas se realizaron en menos de 24 h después de la toma, todo esto siguiendo las recomendaciones de la Norma Oficial Mexicana NOM-109-SSA1-1994.

Análisis bacteriológico

El análisis de las muestras se llevó a cabo en el Laboratorio de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la División de Ciencias de la Vida de la Universidad de Guanajuato Campus Irapuato-Salamanca. Se analizó un total de 8 muestras de leche cruda de cabras con ubres inflamadas. Para realizar el análisis bacteriológico se siguió la metodología descrita en la Norma Oficial Mexicana NOM-109-SSA1-1994 con algunas modificaciones que se describen a continuación. El recuento de Unidades Formadoras de Colonias (UFC/ml) de *S. aureus* se realizó a partir de las diluciones preparadas (1:10, 1:100 y 1:1000). Para realizar la identificación del género bacteriano se consideraron las características morfológicas (morfología y agrupamiento) y bioquímicas (prueba de presencia de catalasa y tinción de gram) además de los medios selectivos Chromagar y Agar Baird Parker, para las cuales se inoculó 0.1 ml de cada muestra y fueron incubadas por 48 h a 37±1ºC. Con el Chromagar se observó la coloración de las colonias malva-naranja o azul, circulares, convexas, lisas, de diámetro de 1 a 2 mm, y con el Agar Baird Parker se seleccionaron las colonias típicas negras, circulares, brillantes, convexas, lisas, de diámetro de 1 a 2 mm y que mostraron una zona opaca y un halo claro alrededor de la colonia. Posteriormente se realizó el conteo y selección de colonias y se resembraron hasta obtener cultivos puros en Agar Sangre. Una vez que se determinó el género se realizaron pruebas de susceptibilidad antimicrobiana utilizando el método del disco de difusión sobre agar Mueller-Hinton (Bioxon, México), para lo que se utilizaron los discos con antibióticos para bacterias gram positivas que contenían los siguientes antibióticos: Ampicilina (AM), Cefalotina (CF), Cefotaxima (CTX), Ciprofloxacina (CPF), Clindamicina (CLM), Dicloxacilina (DC), Eritromicina (E), Gentamicina (GE), Penicilina (PE), Tetraciclina (TE), Trimetoprim-Sulfametoxazol (SXT), Vancomicina (VA). Se utilizó una siembra en Agar Mueller-Hinton sin los antibióticos para cada muestra como control. Los cultivos fueron incubados a 37°C y revisados a las 24 y 48 hrs.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a las condiciones en las que se realizó el estudio se encontró que el principal patógeno presente en la leche de las cabras en Apaseo el Grande fue *S. aureus,* posiblemente siendo el responsable del diagnóstico de mastitis en cabras por la prueba california, lo anterior debido a que se encontró en el total de las muestras, corroborando parcialmente la hipótesis de que existen bacterias que afectan sobre las cabras muestreadas en el rebaño de cabras en Apaseo el Grande y tienen relación con el conteo de células somáticas. En total 9 fueron las que tuvieron crecimiento y en los aislamientos la bacteria más frecuentemente encontrada fue *S. aureus* (cabras A415, A104, A605, 9532, 9186, 4177, 7009 y 6520) y en menor frecuencia *Staphylococcus saprophyticus* (cabra 9541) y *Bacilus cereus* (cabra 9186), la cabra previamente tratada (cabra 6) no

mostró crecimiento bacteriano, estos resultados concuerdan con Haenlein (2002) quien reporta la presencia de estos patógenos en la leche de cabra en hasta un 96% de las cabras infectadas en un hato de 138 cabras. Por su parte Raynal-Ljutovac *et al*. (2007) en una revisión de publicaciones científicas menciona la presencia de *S. saprophyticus* y *Bacilus* spp. en cabras con elevados conteos de células somáticas. Por su parte Contreras *et al*. (1997), reportan en su estudio con 134 cabras Murciano-Granadina libres de mastitis clínica la presencia de *S. aureus* así como de otras especies de *Staphylococcus* spp. La presencia común de *S. aureus* puede ser explicado por su amplia distribución y difícil control, ya que puede transmitirse a través de las manos del ordeñador, paños, pezoneras, las moscas etc. (Petersson-Wolfe *et al.,* 2010), además de que el interior de la glándula mamaria le proporciona un habitad favorable a las bacterias. Los resultados de las pruebas adicionales confirmatorias mostraron que el total de los crecimientos bacterianos fueron catalasa positivos, y en los cultivos en Agar Sangre se observó crecimientos con color aperlado en 7 muestras y amarillo claro en 2. Todas las colonias fueron gram positivas y con morfología de cocos, además en una de ellas (cabra 9186) con presencia de bacilos gram positivos. Al ser cultivadas en el medio selectivo Agar Baird Parker 9 las colonias tuvieron crecimiento con una coloración negra (cabras A415, A104, A605, 9532, 9186, 4177, 7009, 6520 y 9541) y posteriormente 4 tuvieron crecimiento en el Chromagar con coloración de las colonias malva-naranja (cabras A104, 9532, 9186 y 7009), y dos presentaron colonias con coloración azul (cabras 9541 y 9186). Similares resultados fueron encontrados por Clavijo *et al*. (2002), quienes trabajaron con 42 cabras de las razas Alpina, Canaria y Mestizas con infección intramamaria y encontraron que el principal patógeno fue *S. aureus* encontrado en el 62% de los casos. En el cuadro 2 se muestra una asociación de la Prueba California para Mastitis con el crecimiento bacteriano ya que la mayoría de las muestras positivas a la Prueba de Mastitis tuvieron crecimiento, por otro lado el medio selectivo es un muy buen método de identificación bacteriana de *Staphylococcus* spp., además de las pruebas confirmatorias de Tinción de gram y Prueba catalasa que reforzaron los resultados, y son solo superadas por los protocolos moleculares como la de PCR (Reacción de Cadena de la Polimerasa) Suarez *et al*. (2008) que podrían ser utilizados para un posterior análisis. En el antibiograma se observó que cinco muestras (A104, 9541, 9532, 9186, 7009) presentaron resistencia a la TE, cuatro a la CLM (9541, 9532, 9186, 7009), dos a la E (A605, 7009), una a PE (9532) y la muestra (A415) presentó resistencia a la AM (Cuadro 2). Los resultados coinciden con Barboza-Corona *et al.* (2009) quienes trabajaron con 50 cepas diferentes de *S. aureus* aisladas de leche de vacas Holstein con mastitis subclínica de 1 hato de Michoacán, México, realizaron la identificación por medio de pruebas bioquímicas estándar y luego por análisis molecular. Los autores utilizaron el mismo método para probar la susceptibilidad a antibióticos y reportan la resistencia a la TE, PE, AM y E, esto

debido al frecuente incremento en la resistencia a agentes antimicrobianos por parte de los microorganismos, y también puede ser aunado a que son los antibióticos de uso común para el control de mastitis. Por su parte Salvatore *et al.* (2010), realizaron un estudio en 1500 cabras de la raza Sarda y Sarda-Maltese libres de mastitis clínica en el que muestran la resistencia de *S. aureus* a los agentes antimicrobianos AM, CF, Kanamicina y Oxitetraciclina. Al respecto Raynal-Ljutovac *et al.,* (2007) en su estudio sobre CCS en leche de cabra, mencionan cepas *Staphylococcus* spp. resistentes a la PE (y más específicamente la oxacilina).

Cuadro 2. Resultados del análisis de leche de cabras de Apaseo el Grande, Guanajuato, México

Muestra Cabra	Prueba california para mastitis	Chromagar (Colonias)	Agar Baird Parker (Colonias)	Agar Sangre (Color)	UFC/ml	Tinción de Gram		Morfología	Prueba Catalasa	Especies	Resistencia
						(+)	(-)				
A614	N	X	X								
A415	P	X	45	Aperlado	4500	X		Cocos	P	SA	0
A104	P	200	500	Aperlado	50000	X		Cocos	P	SA	AM-CLM-TE
A108	N	X	X								
9533	N	X	X								
9541	P	1	1	Amarillo	10000	X		Cocos	P	SA-SS	CLM-TE
A605	N	1	1	Amarillo	100	X		Cocos	P	SA	0
6	P (TX)	X	X								
9522	N	X	X								
9532	P	1	1	Aperlado	1000	X		Cocos	P	SA	CLM-E-PE-TE
7349	N	X	X								
9186	P	110	6	Aperlado	60000	X	X	Cocos-Bacilos	P	SA-BC	CLM-TE
4177	P	X	24	Aperlado	2400	X		Cocos	P	SA	0
7009	P	3	4	Aperlado	400	X		Cocos	P	SA	CLM-E-TE
6520	P	X	21	Aperlado	2100	X		Cocos	P	SA	0

UFC: unidades formadoras de colonias; P: positivo; N: negativo; TX: tratadas; SA: *Staphylococcus aureus*; SS: *Staphylococcus saprophyticus*; BC: *Bacilus cereus*; AM: Ampicilina; CLM: Clindamicina; TE: Tetraciclina; E: Eritromicina; PE: Penicilina.

Pellegrino *et al*. (2011), nos dicen que la terapia con antibióticos desempeña un papel determinante en la eliminación de infecciones y en su experimento con leche de vaca

estudian la resistencia a los antibióticos por parte de *S. aureus*. Ellos obtuvieron 271 muestras de leche de vaca de las cuales aislaron 300 cepas de las que el 21% fueron identificadas como *S. aureus,* el 58.7% de estas últimas mostraron resistencia in vitro a uno o más antibióticos (estreptomicina, PE y E) y el 19% presentaron multirresistencia. Todos fueron sensibles a GE, AM/sulbactan, rifampicina y oxacilina, resultados que concuerdan con los de obtenidos en este estudio.

Al respecto López *et al.* (2006), realizaron un experimento en el que aislaron 20 cepas de *Staphylococcus* spp. de leche de vacas con mastitis, de los cuales el 85% fueron resistentes a la ampicilina, 85% a la PE y dicloxacilina, el 90% a la ceftazidima, y solo el 5% de los aislamientos mostró resistencia a cefuroxima/lincomicina, E y lincomicina, todos sus aislamientos mostraron sensibilidad a CF, GE y trimetoprim, resultados similares a los de este estudio.

CONCLUSIONES

El presente estudio muestra que el principal patógeno encontrado en las muestras de leche de cabra con Pruebas de California positivas es *S. aureus,* también se encontró la presencia de *Staphylococcus saprophyticus* y *Bacilus cereus.* Además de que varias muestras demostraron resistencia a los antibióticos de uso común como lo son la Ampicilina, Clindamicina, Eritromicina, Penicilina y Tetraciclina. Esto representa un riesgo en el control de la mastitis en los hatos puesto que estos son los antibióticos de uso comercial. Se deben eliminar en el manejo las malas prácticas de uso de antibióticos como la subdosificación, además de buscar la prevención como el mejor de los aliados contra la mastitis, esto aunado a la búsqueda de nuevas alternativas de control y tratamiento contra la mastitis.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al CONACYT, a la Universidad de Guanajuato, a la asociación de “Caprinocultores Unidos de Guanajuato A.C.” por el apoyo y las facilidades brindadas para la realización de este estudio.

DECLARACIÓN DE NO CONFLICTOS DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses en ninguno de los temas relacionados al presente estudio.

LITERATURA CITADA

Araya V, Gallo L, Quesada C, Chaves C, Arias ML. 2008. Evaluación bacteriológica de la leche y queso de cabra distribuidos en el área Metropolitana de San José, Costa Rica. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 58 (2): 182-185. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222008000200010&lng=es&tlng=es.

Barboza-Corona JE, De la Fuente-Salcido N, Alva-Murillo N, Ochoa-Zarzosa A. López-Meza JE. 2009. Activity of bacteriocins synthesized by *Bacillus thuringiensis* against *Staphylococcus aureus* isolates associated to bovine mastitis. *Veterinary Microbiology*. 138 (1–2): 179–183. https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2009.03.018

Bergonier D, De Crémoux R, Rupp R, Lagriffoul G, Berthelot X. 2003. Mastitis of dairy small ruminants. *Veterinary Research*. 34 (5):689–716. https://doi.org/10.1051/vetres:2003030

Clavijo A, Meléndez B, Clavijo M, Godoy A, Santander J. 2002. Efecto del sistema de explotación sobre la aparición de mastitis caprina en dos fincas del estado Falcón, sus agentes etiológicos y la resistencia a antimicrobianos. *Zootecnia Tropical*. 20(3):383-395. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692002000300008&lng=es&tlng=es

Contreras A, Corrales JC, Sanchez A, Sierra D. 1997. Persistence of Subclinical Intramammary Pathogens in Goats Throughout Lactation. *J Dairy Sci*. 80(11):2815–2819. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76245-3

Contreras A, Paape MJ, Miller RH. 1999. Prevalence of subclinical intramammary infection caused by Staphylococcus epidermidis in a commercial dairy goat herd. *Small Rumin. Res*. 31 (3): 203-208. https://doi.org/10.1016/S0921-4488(98)00147-3

Contreras A, Luengo C, Sánchez A, Corrales JC. 2003. The role intramammary pathogens in dairy goats. *Livestock Prod. Sci*. 79 (2–3): 273-283. https://doi.org/10.1016/S0301-6226(02)00172-0

De Buyser M, Dufor B, Maire M, Lafarge V. 2001. Implication of milk and milk products in food-borne diseases in France and in different industrialized countries. *International Journal of Food Microbiology*. 67 (1–2): 1-17. https://doi.org/10.1016/S0168-1605(01)00443-3

De Cremoux R, Poutrel B, Berny F. 1995. Use of somatic cell counts for presumptive diagnosis of intramammary infections in goats. The 3rd International Mastitis Seminar, Proceedings II S6: 90.
https://agris.fao.org/search/en/providers/122439/records/64747270425ec3c088f2bc2f

Haenlein GFW. 2002. Relationship of somatic cell counts in goat milk to mastitis and productivity. *Small Rumin. Res*. 45(2):163–178.
https://doi.org/10.1016/S0921-4488(02)00097-4

Jayarao B, Donaldson S, Straley B, Sawant A, Hedge N, Brown JA. 2006. Survey of Foodborne Pathogens in Bulk Tank Milk and Raw Milk Consumption Among Farm Families in Pennsylvania. *Journal of Dairy Science*. 89(7):2451-2458.
https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72318-9

Kalogridou-Vassiliadou D. 1991. Mastitis-related pathogens in goat milk. *Small Rumin. Res*. 4 (2): 203-212. https://doi.org/10.1016/0921-4488(91)90066-Y

Leitner G, Merin U, Silanicove N. 2004. Changes in milk composition as affected by subclinical mastitis in goats. *Journal of Dairy Sciece*. 87(6):1719-1726.
https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73325-1

López MJ, Higuera RJ, Ochoa ZA, Chassin NO, Valdez AJ, Bravo PA, Baizabal AV. 2006. Caracterización molecular de aislamientos de *Staphylococcus* spp. asociados a mastitis bovina en Tarímbaro, Michoacán. *Téc. Pecu. Méx.* 44 (1): 91-106.
http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61344108

Norma Oficial Mexicana NOM-110-SSA1-1994. Bienes y servicios. Preparación y dilución de muestras de alimentos para su análisis microbiológico.
https://salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/110ssa14.html

Muehlherr J, Zweifel C, Corti S, Blanco J, Stephan R. 2003. Microbiological Quality of Raw Goat´s and Ewe´s Bulk-Tank Milk in Switzerland. *Journal of Dairy Sciece*. 86(12): 3849- 3856. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73992-7

Paape MJ, Capuco AV. 1997. Cellular Defense Mechanisms in the Udder and Lactation of Goats*. J Anim Sci*. 75(2):556-565. https://doi.org/10.2527/1997.752556x

Pellegrino MS, Frola ID, Odierno LM, Bogni CI. 2011. Mastitis Bovina: Resistencia a antibióticos de cepas de *Staphylococcus aureus* asiladas de leche. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*. 12 (7): 1-14. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63622567006

Petersson-Wolfe CS, Mullarky IK, Jones GM. 2010. Staphylococcus aureus Mastitis: Cause, Detection, and Control. *Virginia Cooperative Extension*. 404-229. https://vtechworks.lib.vt.edu/server/api/core/bitstreams/dde1c303-aead-4161-b3ee-d14777a4b82d/content

Poutrel B, De Cremoux R, Ducelliez M, Verneau D. 1997.Control of intramammary infections in goats: impact on somatic cell counts. *J Anim Sci*. 75 (2): 566-570. https://doi.org/10.2527/1997.752566x

Raynal-Ljutovac K, Pirisi A, De Cremoux R, Gonzalo C. 2007. Somatic cells of goat and sheep milk: analytical, sanitary, productive and technological aspects. *Small Rumin Res*. 68 (1-2):126-144. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.09.012

Salvatore V, Christian S, Francesca C, Vincenzo S, Carlo S, Enrico L. 2010. Antibiotic resistance in *Staphylococcus aureus* and coagulase negative *Staphylococci Isolated* from goats with subclinical mastitis. *Veterinary Medicine International*. e517060. https://doi.org/10.4061/2010/517060

Suarez MJ. Arias ML, Gamboa MM. 2008. Detección de la enterotoxina A de *Staphylococcus aur*eus mediante la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) y su correlación con las pruebas de coagulasa y termonucleasa. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 58 (1): 59-63. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222008000100008&lng=es&tlng=es

Villanueva TG, Morales CS. 2017. Resistencia antibiótica de patógenos bacterianos aislados de mastitis clínica en bovinos de crianza intensiva. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*. 18(12):1-12. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63654640046

Abanico Boletín Técnico. ISSN: 3061-8452.
https://abanicoacademico.com/abanicoboletintecnico/index
abanicoboletin@gmail.com

Abanico Boletín Técnico. Enero-Diciembre, 2025. 4:1-14.
Artículo Original. e2024-45.

Evaluación de rebrotes como respuesta de restauración de un bosque de encino-pino impactado por incendios forestales

Evaluation of resprouts as a restoration response in an oak-pine forest impacted by forest fires

Flores-Garnica José *[1] ID, Atondo-Bueno Edel[2] ID, Flores-Rodríguez Ana ** [1] ID, Orozco-Gutiérrez Gabriela[3] ID

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Av. Biodiversidad 2470. C. P. 44660. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. [2]Universidad de Guadalajara. Departamento de Botánica y Zoología, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Camino Ramón Padilla Sánchez No. 2100, Nextipac 45200, Zapopan, Jalisco, México. [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Tecomán, Colima. *Autor responsable: Flores-Garnica, José G. **Autor de correspondencia: Flores-Rodríguez Ana G. E-mail: flores.german@inifap.gob.mx, edel.atondo@gmail.com, anaflores1386@gmail.com, orozco.gabriela@inifap.gob.mx

RESUMEN

En México, los bosques templados enfrentan una alta incidencia de incendios, cuya resiliencia se basa en diferentes estrategias de regeneración, como los rebrotes que han sido poco estudiados bajo este contexto. De acuerdo a lo anterior, este estudio analiza la respuesta de los rebrotes de especies arbóreas dominantes en un bosque de encino-pino impactado por incendios de alta severidad, en el Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera, Jalisco. Se generaron modelos para estimar la cantidad de rebrotes en relación a variables ambientales, topográficas (ladera y plana) y de la estructura del arbolado. Para obtener esta información, se evaluaron 12 sitios afectados por incendios, ocurridos en los años 2012 y 2019. Se determinó que dentro de las especies dominantes capaces de rebrotar se incluyen a *Pinus oocarpa*, *Quercus resinosa y Q. viminea*. La probabilidad (0.034 - <0.001) de rebrote de *P. oocarpa* se vio influenciada positivamente por la densidad de árboles carbonizados, el número de tocones y los pinos carbonizados. En el caso de las dos especies de *Quercus*, el rebrote dependió (0.036 - <0.001) de la presencia de árboles carbonizados y el número de ramas. Estos resultados aportan bases para orientar la toma de decisiones en las acciones de conservación y la restauración ecológica de los bosques de encino-pino afectados por incendios de alta severidad.

Palabras clave: *Pinus oocarpa, Quercus resinosa, Quercus viminea*, restauración pasiva, severidad del incendio.

ABSTRACT

In Mexico, temperate forests face a high incidence of fires that compromise their resilience. This study examines the resprouting response of dominant tree species in oak-pine forests following high-severity fires in the “La Primavera” Flora and Fauna Protection Area, Jalisco. Resprouting and assessments of environmental, topographic, and vegetation structural variables were conducted at 12 sites affected by fires in 2012 and 2019, across flat and slope topographies. Dominant resprouting species include *Pinus oocarpa*,

Quercus resinosa, and *Q. viminea*. The probability of resprouting in *P. oocarpa* was positively influenced by the density of charred trees, the number of stumps, and charred pines. For the two *Quercus* species, resprouting depended on the presence of charred trees and the number of branches. These findings provide a basis for guiding decision-making in conservation and ecological restoration actions for oak-pine forests affected by high-severity fires.
Keywords: *Pinus oocarpa, Quercus resinosa, Quercus viminea*, passive restoration, fire severity.

INTRODUCCIÓN

En México, los bosques templados enfrentan una alta incidencia de incendios que comprometen su resiliencia (Cadena-Zamudio *et al*., 2021; Montoya *et al*., 2023). La mayoría de estos bosques son propensos/dependientes del fuego, ya que las especies han desarrollado rasgos de resistencia, tolerancia o evasión del fuego, como corteza gruesa, serotinia, y capacidad de rebrote, entre otras (Rodríguez-Trejo & Fulé, 2003; Hardesty *et al*. 2005; Rodríguez-Trejo & Myers, 2010; Keeley *et al*., 2011; Clarke *et al*., 2013; Rodríguez-Trejo, 2014; Pausas, 2015). Estos rasgos favorecen la persistencia de los bosques al permitir que las especies completen sus ciclos biológicos tras los incendios (Keeley, 2009). No obstante, la persistencia de las especies depende de la conservación de los regímenes naturales de incendios (frecuencia, extensión, intensidad) (Bond & Keeley, 2005). Sin embargo, los regímenes están siendo alterados por actividades humanas (*e.g*., agricultura, construcción, políticas de supresión de incendios) y el cambio climático (Bilbao *et al*., 2020; Ponce-Calderón *et al*., 2021), aumentando la frecuencia y severidad de los incendios (efectos del fuego en el ecosistema). Estos cambios pueden alteran significativamente la regeneración de las especies (Boucher *et al*., 2020; Stevens-Rumann & Morgan, 2019), ya que, por un lado, incendios severos impactan la disponibilidad y viabilidad de las semillas, lo que limita la capacidad de regeneración sexual de muchas especies, y por otra lado, el fuego puede favorecer las especies que rebrotan (Del Tredici, 2001; Pausas *et al*., 2016; Promis *et al*., 2019). Estos rebrotes se generan a partir los bancos de yemas subterráneas o laterales latentes, los cuales últimas utilizan reservas almacenadas de nutrientes y carbohidratos (Clarke *et al*., 2013). Sin embargo, la severidad del incendio puede influir en la disponibilidad de estos recursos y, por lo tanto, en la capacidad de rebrote (Huerta *et al*., 2021; Vesk & Westoby, 2004). Más aún, las condiciones micro-ambientales post-incendio, como la disponibilidad de nutrientes, temperatura y humedad en el suelo, intensidad lumínica, y competencia interespecífica, también afectan el crecimiento y establecimiento de los rebrotes (Stevens-Rumann *et al*., 2017; Magaña-Hernández *et al*., 2020; Wooten *et al*., 2022). El conocimiento de la capacidad de un ecosistema a regenerarse a través de brotes es esencial para definir acciones de restauración asistida, para acelerar, o iniciar, la recuperación de los bosques afectados por incendios (Alanís-Rodríguez *et al*., 2015),

que, a la vez, sean viables económicamente (Meli *et al*., 2017; Crouzeilles *et al*., 2017). Sin embargo, las investigaciones se han centrado en analizar cambios en la composición y estructura de la vegetación afectada por incendios forestales, con relación a cambios de regímenes de incendios (Fulé & Covington 1997, 1998; González-Tagle *et al*., 2008; Alanís-Rodríguez *et al*., 2020; Souza-Alonso *et al*., 2022). Por lo tanto, es crucial estudiar la capacidad de rebrote de las especies para evaluar el potencial de regeneración de los ecosistemas forestales, considerando variaciones entre especies y escenarios de perturbación (Vesk & Westoby, 2004). Además, se debe considerar un proceso de monitoreo para determinar los impactos a largo plazo y utilizar cronosecuencias para analizar el potencial de rebrote de las especies (Prach & Walker, 2011). Con base a lo cual se puede planificar estrategias de conservación y restauración (Arias-Menaut, 2017). De acuerdo a lo anterior, este estudio analiza la respuesta temporal de los rebrotes de especies arbóreas dominantes en un bosque de encino-pino, tras la ocurrencia de incendios de alta severidad, en relación a una serie de factores que influyen en su presencia (densidad). Para esto se establecen los siguientes objetivos: 1) identificar y cuantificar el número de rebrotes de las especies arbóreas; y 2) modelar el potencial de rebrote, en función de las variables ambientales, topográficas y de estructura de la vegetación. Con los resultados generados se pretende apoyar el entendimiento del proceso de resiliencia de este ecosistema, y con esto, dar soporte a la toma de decisiones en el establecimiento de estrategias para su restauración después de ser impactado por incendios forestales.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera (APFFLP, 30,500 ha, Figura 1), localizada en la región serrana de Jalisco, México, con una variación altitudinal entre los 1,400-2,200 msnm (SEMARNAT, 2000). Más del 90% del suelo es regosol, recubierto con poca materia orgánica, con una dureza desfavorable para la germinación de muchas especies y susceptible a la erosión hídrica (Dye, 2012). El clima es templado subhúmedo con una estación seca de siete meses, con una temperatura media anual de 18.7 °C, y un rango de precipitación desde 800-1,000 mm (SEMARNAT, 2000). El dosel está dominado por: *Quercus resinosa* Liebm., *Q. viminea* Trel., *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl., y *Clethra rosei* Britton (Atondo-Bueno *et al*., 2024). En el área se han presentado dos incendios (2012 y 2019) cuya periodicidad coincide con el régimen actual de incendios forestales, que se caracteriza por la ocurrencia de incendios a gran escala en periodos cortos de 7 años (Gallegos *et al*., 2014).

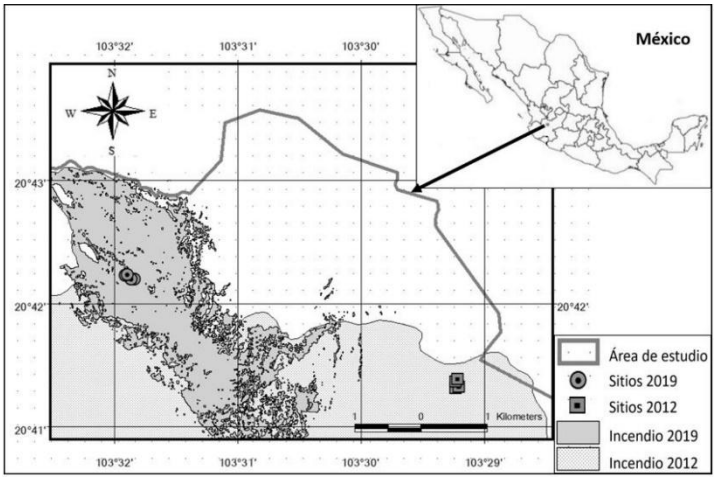

Figura 1. Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera, Jalisco, México

Selección de áreas quemadas. Las áreas quemadas se identificaron usando el Sistema Nacional de Predicción de Peligro de Incendios Forestales de México (Vega-Nieva *et al*., 2020). La severidad se determinó mediante el diferencial del índice normalizado de área quemada (dNBR) (Key & Benson, 2006), calculado a partir de imágenes satelitales Landsat, tomadas antes y después de cada incendio (Silva-Cardoza *et al*., 2021). Se seleccionaron dos polígonos con incendios de alta severidad (dNBR > 378) ocurridos en 2012 y 2019. Esta información se validó mediante una evaluación visual del soflamado de copa (<90 % de la copa del arbolado [Silva-Cardoza *et al*., 2021]).

Diseño de muestreo. Para cada incendio (2012 y 2019), se seleccionaron 6 sitios bajo dos condiciones topográficas: a) tres sitios planos (< 20% pendiente); y b) tres de ladera (20-95% pendiente, NE). En cada sitio, se delimitó una parcela de 60 × 48 m, subdividida en 20 cuadrantes (12 x 12 m), de los cuales, para el muestreo, se seleccionaron al azar 10 cuadrantes (modificado de Vázquez-García & Givnish, 1998). En cada cuadrante, se establecieron parcelas circulares de 100 m^2 (radio = 5.64 m), sumando un total de 1,000 m^2 (0.1 ha) por sitio. En cada parcela, se registraron 16 variables: siete ambientales, dos topográficas y siete estructurales (Tabla 1). Para la estructura de la vegetación, se incluyeron tanto árboles carbonizados, como no quemados, con un diámetro a la altura del pecho (DAP) de 1.30 m. La densidad de herbáceas se obtuvo a partir de cuatro subparcelas de 1 m^2, dentro de cada parcela circular (100 m^2). El número de rebrotes (≤ 2.5 cm DAP) se registró de tocones, o raíz, de las especies más frecuentes. Todas las variables se extrapolaron a hectáreas (ha).

Análisis estadísticos. Para identificar las variables que influyen en el rebrote, se relacionó el número de rebrotes con variables ambientales, topográficas y de estructura de la vegetación (Tabla 1), excluyendo aquellas con colinealidad (método Spearman). Dado que las variables no tienen una varianza constante, ni distribución normal, se

utilizaron modelos lineales generalizados (GLM) (Crawley, 2013). Para la selección de variables en cada modelo se empleó el contraste de modelos mediante el procedimiento de backward (hacia atrás), donde se inició con un modelo completo (todas las variables no colineales) y se fueron eliminaron aquellas que no afectaran significativamente el modelo. La selección del modelo se realizó mediante el parámetro de información de Akaike (AIC), eligiendo el modelo con menor valor AIC. Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el software R Studio 2022.02.2 (R Core Team, 2022).

Tabla 1. Variables evaluadas en cada parcela circular de muestreo, para la estimación del número de rebrotes tras un incendio forestal

Criterio	Indicador	Variable	Unidad
Ambientales	Cobertura	1. Arbolado 2. Arbustos 3. Hojarasca 4. Suelo 5. Pedregosidad	%
	Perturbación	6. Excretas 7. Tocones	Número
Topográficas		8. Elevación 9. Pendiente	msnm %
Estructura de la vegetación	Arbolado no quemado	10. Densidad 11. Ramas por spp. 12. Densidad por spp. 13. Área basal por spp.	Densidad/ha Número/ha Densidad/ha m^2/ha
	Arbolado carbonizado	14. Densidad 15. Densidad por spp.	Densidad/ha
	Herbáceas	16. Densidad	Densidad/ha

RESULTADOS

Del total de individuos en los sitios de estudio, el 16% presentó rebrotes, de los cuales el 71% eran individuos carbonizados. Entre los individuos que rebrotaron, el 42% correspondió a *Pinus oocarpa* y el 20% a *Quercus resinosa* (Tabla 2). *Pinus oocarpa* fue la especie con mayor número de rebrotes (59%), seguido de *Q. resinosa* y *C. rosei* con el 10% (Tabla 2, Figura 2). *Quercus viminea* presentó el 5%. Para los análisis, las dos especies de *Quercus* se consideraron como un solo grupo.

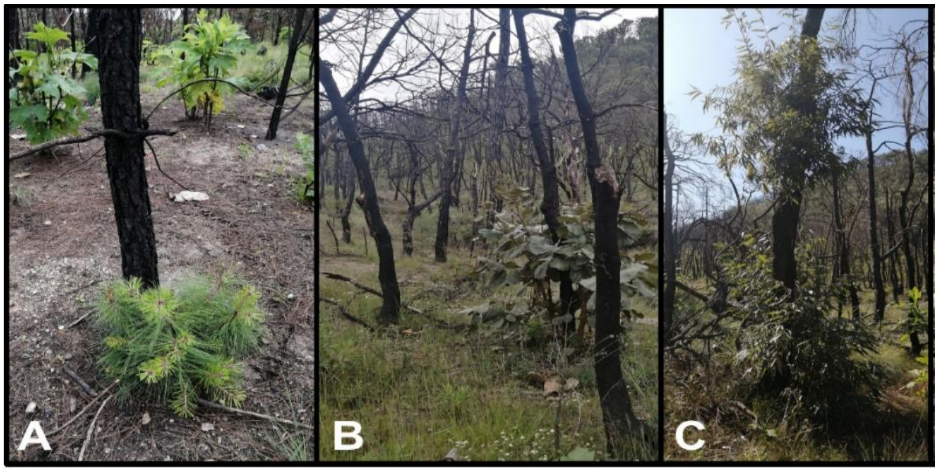

Figura 2. Rebrotes en un bosque de pino-encino, impactado por incendio: A) *Pinus oocarpa*, B) *Quercus resinosa*, y C) *Quercus viminea*

Tabla 2. Número de individuos y rebrotes total por especie, tras incendios ocurridos en 2012 y 2019, en el Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera, Jalisco, México

Familia	Especie	Individuos con rebrotes	Rebrotes 2019	Rebrotes 2012	Rebrotes total
Asteraceae	*Eremosis foliosa* (Benth.) Gleason	1	-	5	5
	Verbesina robinsonii (Klatt) Fernald ex B.L. Rob. & Greenm	1	-	5	5
	Verbesina fastigiata B.L. Rob. & Greenm	11	-	34	34
Clethraceae	*Clethra rosei* Britton	60	3	360	363
Ericaceae	*Vaccinium stenophyllum* Steud.	53	-	278	278
	Agarista mexicana (Hemsl.) Judd	26	53	137	190
Fabaceae	*Lysiloma sp.*	2	-	28	28
	Calliandra houstoniana var. anomala (Kunth) Barneby	2	-	8	8
Fagaceae	*Quercus resinosa* Liebm	99	126	226	352
	Quercus viminea Trel.	32	73	118	191
Pinaceae	*Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl.	209	86	2029	2115

Para el caso de *P. oocarpa*, varios factores mostraron una influencia positiva en el número de rebrotes, incluyendo la densidad de árboles carbonizados (ha), el número de tocones, pinos carbonizados, y de pinos quemados y no quemados (Tabla 3). Por el contrario, el área basal de pinos quemados y no quemados, tuvieron un efecto negativo. El número de rebrotes de *Quercus* estuvo relacionado positivamente con el número de *Quercus* carbonizados, *Quercus* quemados y no quemados, y la presencia de ramas de estos árboles (Tabla 3).

Tabla 3. Modelo Lineal Generalizado del efecto de las variables ambientales sobre el número de rebrotes de *Pinus oocarpa*, y *Quercus* (*Q. resinosa* y *Q. viminea*) en áreas afectadas por incendios de alta severidad ocurridos en 2012 y 2019 en un bosque de encino-pino en el Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera, Jalisco, México

Variable respuesta	Covariable	*Estimado*	± SE	*t* valor	*p* valor
Núm. de rebrotes de *Pinus oocarpa*	Intercepto	-2.33E+00	7.91E-01	-2.941	0.004
	Árboles carbonizados	0.001372	0.0004744	2.891	0.005
	Tocones	0.012630	0.00406	3.11	0.002
	Pinos carbonizados	0.003863	0.0008979	4.303	< 0.001
	Pinos no quemados	-0.005581	0.00119	4.691	< 0.001
	Área basal pino	-39.20000	18.25	-2.148	0.034
Núm. de rebrotes de *Quercus*	Intercepto	-3.24E-01	1.61E+00	-0.201	0.841
	Quercus carbonizados	2.42E-02	2.83E-03	8.574	< 0.001
	Quercus no quemados	7.89E-03	3.71E-03	2.128	0.036
	Ramas de *Quercus*	3.27E+00	5.78E-01	5.653	< 0.001

Solo se muestran los modelos con términos significativos.

DISCUSIÓN

La severidad de los incendios y las condiciones ambientales resultantes son determinantes en la capacidad de las especies para persistir tras un incendio. En este estudio, se observó que, tras incendios de alta severidad, varias especies leñosas del bosque de encino-pino son capaces de rebrotar. Principalmente de individuos carbonizados, registrándose un aumento en el número de los rebrotes con el paso del tiempo. *Pinus oocarpa* fue la especie con mayor número de rebrotes, seguido de *Quercus*

resinosa. En el caso de Pinus, se ha registrado que después de ocurrido un incendio, la regeneración de *P. oocarpa* fue principalmente por rebrotes (83%) (Sánchez-Durán *et al*., 2014). Sin embargo, esto contrasta con estudios previos, donde se reporta que la capacidad de rebrotar de *P. oocarpa* tiende a disminuir con el tiempo (Juárez-Martínez & Rodríguez-Trejo, 2007). Por el contrario, los rebrotes de *Quercus* tienden a ser más exitosos tras perturbación de su biomasa aérea, por lo que la recuperación de estas especies suele ser mayor que la de los pinos (Barton & Poulos (2018). No obstante que la capacidad de rebrotar es más común en angiospermas (Del Tredici, 2001), también es común en especies de pino (p.e. *P. oocarpa)*, las cuales, además de rebrotar, cuenta con otros estrategias que favorecen su persistencia después de un incendio, como la presencia de conos serotinosos, corteza gruesa y la autopoda (Rodríguez-Trejo & Fulé, 2003). En cuanto a *Quercus*, diversos estudios han señalado que su persistencia en comunidades post-incendio se debe a su habilidad para rebrotar y colonizar áreas abiertas (Fulé & Covington, 1998; Rodríguez-Trejo & Myers, 2010; Moctezuma *et al*., 2015). De acuerdo con esto, en este estudio se esperaría una mayor proporción de Quercus en lugar de Pinus, no obstante, parece haber otros factores/variables subyacentes que están modulando la respuesta de los rebrotes.

Aunque en este estudio no se identificaron variables ambientales o topográficas con influencia significativa en el número de rebrotes de *P. oocarpa*, se observó una fuerte asociación con la densidad de árboles carbonizados, tocones, pinos carbonizados, y de pinos en general (quemados y no quemados). Además, el área basal de los pinos mostró un efecto negativo sobre la cantidad de rebrotes. Estudios previos han asociado la capacidad de *P. oocarpa* para regenerarse con la presencia de árboles progenitores, y características del sitio como, el historial del sitio y su estado (Sánchez-Durán *et al*., 2014). El establecimiento de la regeneración natural de pinos (0-3 m de altura) está modulada por la cobertura del suelo, del sotobosque y el relieve (Flores-Rodríguez *et al*., 2022).

En el caso de *Quercus*, se observó que la cantidad de rebrotes está relacionada con: a) el número de individuos de *Quercus* carbonizados; b) *Quercus* en general (quemados y no quemados); y c) el número de ramas de estos árboles. Esto también se ha observado, en estudios similares, en *Q. resinosa,* el cual presenta más rebrotes en individuos carbonizados, que, en los no quemados, donde la mayor probabilidad de rebrotar está asociada principalmente a las clases diamétricas intermedias (2.5 a 7.5 cm) (Arias-Menaut, 2017). Esto sugiere que un incendio de alta severidad elimina a los individuos más jóvenes (de menor diámetro), lo cual minimiza sus posibilidades de alcanzar la altura y diámetro suficiente para rebrotar.

Desde la perspectiva de manejo, se debe considerar la capacidad de rebrotar como una ventaja crucial mantener la continuidad (supervivencia) de muchas especies, bajo

condiciones adversas (incendios, escasez de humedad, baja en nutrientes, etc.). Por lo que, la prevalencia de rebrotes, especialmente de especies como *Pinus* y *Quercus*, puede garantizar su persistencia en el ecosistema a largo plazo, incluso tras incendios de alta severidad. Esto se logra al mantener una reserva de individuos con la habilidad para rebrotar, lo cual proporciona ventajas y compensaciones respecto a la regeneración sexual (Huerta *et al*., 2021). Sin embargo, faltan estudios que evalúen el desarrollo de los rebrotes a largo plazo, ya que la regeneración natural podría no ser suficiente para mantener al ecosistema resiliente ante futuros disturbios.

CONCLUSIONES

Pinus oocarpa presenta un significativo potencial de regeneración a través del rebrote. Esto es especialmente relevante en el contexto de incendios de alta severidad, donde la persistencia de las especies está fuertemente relacionada a su capacidad regenerarse a través de rebrotes.

En el caso de *Quercus*, la respuesta de rebrote es menos prominente, lo que sugiere que los esfuerzos de restauración podrían reforzarse con plantaciones, como medida de asistencia para acelerar el establecimiento de la regeneración. Desde una perspectiva de manejo, las especies con capacidad de rebrotar favorecen su supervivencia después de ser perturbadas por un incendio forestal y, potencialmente, incrementan la capacidad de resiliencia del ecosistema.

LITERATURA CITADA

Alanís-Rodríguez E, Sánchez-Castillo L, Méndez-Osorio C, Canizales-Velázquez PA, Mora-Olivo A, Rubio-Camacho EA. 2020. Structure and diversity of trees on post-fire regenerated areas in Sierra de Guerrero, Mexico. *Botanical Sciences.* 98:210-218. https://doi.org/10.17129/botsci.2220

Alanís-Rodríguez E, Valdecantos-Dema A, Jiménez-Pérez J, Rubio-Camacho EA, Yerena-Yamallel JI, González-Tagle MA. 2015. Post-fire ecological restoration of a mixed Pinus-Quercus forest in northeastern Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 21(2):157-170. https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2014.07.031

Arias-Menaut JA. 2017. Restauración pasiva post-incendio de un encinar del occidente de México. Tesis de Maestría. Universidad de Guadalajara. Autlán de Navarro, Jalisco, México. https://www.riudg.udg.mx/handle/20.500.12104/85241

Atondo-Bueno EJ, Zuloaga-Aguilar S, Muñiz-Castro MA, Cuevas-Guzmán R, López-Barrera F, Alanís-Rodríguez E. 2024. Post-fire regeneration of oak-pine forest across a

chronosequence in western Mexico: key species for forest restoration. *Botanical Sciences*. 102(3):713-745. https://doi.org/10.17129/botsci.3440

Barton AM, Poulos HM. 2018. Pine vs. oaks revisited: Conversion of Madrean pine-oak forest to oak shrubland after high-severity wildfire in the Sky Islands of Arizona. *Forest Ecology and Management*. 414:28-40. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.02.011

Bilbao B, Steil L, Urbieta IR, Anderson L, Pinto C, Gonzalez MC, Millán A, Falleiro RM, Morici E, Ibarnegaray V, Perez-Salicrup DR, Pereira JM, Moreno JM. 2020. "Incendios forestales". En: Moreno JM, Laguna-Defior C, Barros V, Calvo EB, Marengo JA, Oswald US, *Adaptación frente a los riesgos del cambio climático en los países iberoamericanos – Informe RIOCCADAPT*. Madrid, España: McGraw Hill. Pp. 435-496. ISBN: 9788448621643.

Bond WJ, Keeley JE. 2005. Fire as a global "herbivore": the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends in ecology & evolution.* 20:387-94. https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.04.025

Boucher D, Gauthier S, Thiffault N, Marchand W, Girardin M, Urli M. 2020. How climate change might affect tree regeneration following fire at northern latitudes: a review. *New Forests.* 51:543-571. https://doi.org/10.1007/s11056-019-09745-6

Cadena-Zamudio DA, Flores-Garnica JG, Lomelí-Zavala ME, Flores-Rodríguez AG. 2022. Does the severity of a forest fire modify the composition, diversity and structure of temperate forests in Jalisco? *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente.* 28:3-20. https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2020.12.076

Clarke PJ, Lawes MJ, Midgley JJ, Lamont BB, Ojeda F, Burrows GE, Enright NJ, Knox KJE. 2013. Resprouting as a key functional trait: how buds, protection and resources drive persistence after fire. *New Phytologist.* 197:19-35. https://doi.org/10.1111/nph.12001

Crawley MJ. 2013. The R book. John Wiley & Sons. ISBN 978-0-470-97392-9. Pp. 975.

Crouzeilles R, Ferreira MS, Chazdon RL, Lindenmayer DB, Sansevero JBB, Monteiro L, Iribarrem A, Latawiec AE, Strassburg BBN. 2017. Ecological restoration success is higher for natural regeneration than for active restoration in tropical forests. *Science Advances.* 3:1-8. https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.1701345

Del Tredici P. 2001. Sprouting in temperate trees: A morphological and ecological review. *The Botanical Review.* 67:121-140. https://doi.org/10.1007/BF02858075

Dye B. 2012. *La apasionante geología del Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera. Bosque La Primavera, Bosque para siempre.* Pp. 70. Guadalajara, México: Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera.
http://www.saudicaves.com/mx/geobook/primgeobk.pdf

Flores-Rodríguez AG, Flores-Garnica JG, González-Eguiarte DR, Gallegos-Rodríguez A, Zarazúa-Villaseñor P, Mena-Munguía S, Lomelí-Zavala ME, Cadena-Zamudio DA. 2022. Variables ambientales que determinan la regeneración natural de pinos en ecosistemas alterados por incendios. *Ecología Aplicada.* 21:25-33.
https://doi.org/10.21704/rea.v21i1.1872
Fulé PZ, Covington WW. 1997. Fire regimes and forest structure in the Sierra Madre Occidental, Durango, Mexico. *Acta Botanica Mexicana.* 41:43-79.
https://doi.org/10.21829/abm41.1997.791

Fulé PZ, Covington WW.1998. Spatial patterns of Mexican pine-oak forests under different recent fire regimes. *Plant Ecology.* 134:197-209.
https://doi.org/10.1023/A:1009789018557

Gallegos-Rodríguez A, González-Cueva GA, Cabrera-Orozco RG, Marcelli-Sánchez C, Hernández-Álvarez E. 2014. Efecto de la recurrencia de incendios forestales en la diversidad arbórea. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales.* 5:110-125.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322014000400010

González-Tagle MA, Schwendenmann L, Pérez JJ, Schulz R. 2008. Forest structure and woody plant species composition along a fire chronosequence in mixed pine–oak forest in the Sierra Madre Oriental, Northeast Mexico. *Forest Ecology and Management.* 256: 161-167. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.04.021

Hardesty J, Myers R, Fulks W. 2005. Fire, ecosystems and people: a preliminary assessment of fire as a global conservation issue. *Fire Management.* 22:78-87.

Huerta S, Fernández-García V, Marcos E, Suárez-Seoane S, Calvo L. 2021. Physiological and regenerative plant traits explain vegetation regeneration under different severity levels in Mediterranean fire-prone ecosystems. *Forests*. 12:149.
https://doi.org/10.3390/f12020149

Juárez-Martínez A, Rodríguez-Trejo DA. 2007. Efecto de los incendios forestales en la regeneración de *Pinus oocarpa* var. ochoterenae. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente.* 9(2):125-130. https://www.redalyc.org/pdf/629/62913142003.pdf

Keeley JE. 2009. Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage. *International Journal of Wildland Fire.* 18(1):116-126. https://doi.org/10.1071/WF07049

Keeley JE, Pausas JG, Rundel PW, Bond WJ, Bradstock RA. 2011. Fire as an evolutionary pressure shaping plant traits. *Trends in Plant Science.* 16:406-411. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2011.04.002

Key CH, Benson NC. 2006. "Landscape Assessment (LA) sampling and analysis methods". En: Lutes DC, Keane RE, Caratti JF, Key CH, Benson NC, Sutherland S, Gangi LJ *FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system*. General Technical Report RMRSGTR-164-CD. Fort Collins, United States: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Pp. 51. https://www.researchgate.net/publication/241687027_Landscape_Assessment_Ground_measure_of_severity_the_Composite_Burn_Index_and_Remote_sensing_of_severity_the_Normalized_Burn_Ratio

Magaña-Hernández E, Zuloaga-Aguilar S, Cuevas-Guzmán R, Pausas JG. 2020. Variation in plant belowground resource allocation across heterogeneous landscapes: implications for post-fire resprouting. *American Journal of Botany.* 107:1114-1121. https://doi.org/10.1002/ajb2.1521

Meli P, Holl KD, Benayas JMR, Jones HP, Jones PC, Montoya D, Mateos DM. 2017. A global review of past land use, climate, and active vs. passive restoration effects on forest recovery. *PLoS ONE.* 12:1-17. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171368

Moctezuma MAL, Trejo DAR, Cortés FS, Chávez VAS, Sánchez DG. 2015. Tolerancia al fuego en *Quercus magnoliifolia. Revista Arvore.* 39:523-533. https://doi.org/10.1590/0100-67622015000300013

Montoya LE, Corona-Núñez RO, Campo JE. 2023. Fires and their key drivers in Mexico. *International Journal of Wildland Fire.* 32:651-664. https://doi.org/10.1071/WF22154

Pausas JG. 2015. Bark thickness and fire regime. *Functional Ecology.* 29:315-327. https://doi.org/10.1111/1365-2435.12372

Pausas JG, Pratt RB, Keeley JE, Jacobsen AL, Ramirez AR, Vilagrosa A, Paula S, Kaneakua-Pia IN, Davis SD. 2016. Towards understanding resprouting at the global scale. *New Phytologist.* 209:945-954. https://doi.org/10.1111/nph.13644

Ponce-Calderón LP, Rodríguez-Trejo DA, Villanueva-Díaz J, Bilbao BA, Álvarez-Gordillo GDC, Vera-Cortés G. 2021. Historical fire ecology and its effect on vegetation dynamics of the Lagunas de Montebello National Park, Chiapas, Mexico. *iForest.* 14:548-559. https://doi.org/10.3832/ifor3682-014

Prach K, Walker LR. 2011. Four opportunities for studies of ecological succession. *Trends in Ecology & Evolution.* 26:119-123. https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.12.007

Promis A, Olivares S, Acuña S, Cruz G. 2019. Respuesta temprana de la regeneración de plantas leñosas después del incendio forestal denominado “Las Máquinas” en la Región del Maule, Chile. *Gayana Botánica.* 76:257-262. http://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432019000200257

RStudioTeam. 2022. RStudio: Integrated Development for R. Boston, United States. http://www.rstudio.com

Rodríguez-Trejo DA (2008) Fire Regimes, Fire Ecology, and Fire Management in Mexico. *AMBIO: A Journal of the Human Environment.* 37:548-556. https://doi.org/10.1579/0044-7447-37.7.548

Rodríguez-Trejo DA, Fulé PZ. 2003. Fire ecology of Mexican pines and a fire management proposal. *International Journal of Wildland Fire.* 12:23. https://doi.org/10.1071/WF02040

Rodríguez-Trejo DA, Myers RL. 2010. Using oak characteristics to guide fire regime restoration in Mexican Pine-Oak and oak forests. *Ecological Restoration.* 28:304-323. https://doi.org/10.3368/er.28.3.304

Rodríguez-Trejo DA. 2014. *Incendios de vegetación, su ecología, manejo e historia.* México: Biblioteca Básica de Agricultura. ISBN: 9-786077-152378.

Sánchez-Durán M, Gallegos-Rodríguez A, González-Cueva GA, Castañeda-González JC, Cabrera-Orozco RG. 2014. Efecto del fuego en la regeneración de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales.* 5:126-143. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322014000400011

SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2000. Programa de Manejo Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera. México: SEMARNAT, Comisión Nacional de Áreas Protegidas. https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/primavera.pdf

Silva-Cardoza A, Vega-Nieva DJ, López-Serrano P., Corral-Rivas JJ, Briseño-Reyes J, Briones-Herrera CI, Loera-Medina JC, Parra-Aguirre E, Rodríguez-Trejo DA, Jardel-Peláez E. 2021. *Metodología para la evaluación de la severidad de incendios forestales en campo, en ecosistemas de bosque templado de México.* México: Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica y Forestal CONAFOR-CONACYT, proyecto CONAFOR-CONACYT-2018-C02-B-S131553. http://forestales.ujed.mx/incendios2/php/publicaciones_documentos/7_3_Silva%20et%20al%2020211201_Metodologia_severidad_v1.pdf

Souza-Alonso P, Saiz G, García RA, Pauchard A, Ferreira A, Merino A. 2022. Post-fire ecological restoration in Latin American forest ecosystems: Insights and lessons from the last two decades. *Forest Ecology and Management.* 509: 120083. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120083

Stevens-Rumann CS, Morgan P. 2019. Tree regeneration following wildfires in the western US: a review. *Fire Ecology.* 15:15. https://doi.org/10.1186/s42408-019-0032-1

Vazquez-García JA, Givnish TJ. 1998. Altitudinal gradients in tropical forest composition, structure, and diversity in the Sierra de Manantlan. *Journal of Ecology.* 86:999-1020. http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2745.1998.00325.x

Vega-Nieva DJ, Briseño-Reyes J, Briones-Herrera C. 2020. Manual de usuario del Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales (SPPIF) de México. http://forestales.ujed.mx/incendios2

Vesk PA, Westoby M. 2004. Sprouting ability across diverse disturbances and vegetation types worldwide. *Journal of Ecology*. 92:310-320. https://doi.org/10.1111/j.0022-0477.2004.00871.x

Wooten JT, Stevens-Rumann CS, Schapira ZH, Rocca ME. 2022. Microenvironment characteristics and early regeneration after the 2018 Spring Creek Wildfire and post-fire logging in Colorado, USA. *Fire Ecology*. 18:10. https://doi.org/10.1186/s42408-022-00133-8

Abanico Boletín Técnico. ISSN: 3061-8452.
https://abanicoacademico.com/abanicoboletintecnico/index
abanicoboletin@gmail.com

Abanico Boletín Técnico. Enero-Diciembre, 2025; 4:1-18.
Artículo Original. e2024-39.

Validación externa de la idoneidad relativa para estimar la distribución potencial de *Pinus lagunae*

External validation of relative suitability for estimating the potential distribution of *Pinus lagunae*

Flores-Garnica José*[1] ID, Reyes-Cárdenas Oscar[2] ID, Flores-Rodríguez Ana[1] ID, Lomelí-Zavala Mónica[1] ID, Hernández-Martínez Luis[3] ID, Orozco-Gutiérrez Gabriela[4] ID**

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Pacífico Centro. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Carretera Tepatitlán-Lagos de Moreno, Km 8 C.P. 47600, Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. [2]Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería. Dr. Manuel Nava No. 8, Zona Universitaria Poniente, C.P. 78290. San Luis Potosí, SLP, México. [3]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Noroeste. Campo Experimental Todos Santos, Agricultura s/n, Col. Emiliano Zapata, C.P. 23070 La Paz, Baja California Sur, México. [4]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Tecomán, Colima, México. E. mails: flores.german@inifap.gob.mx, oscar.reyes@uaslp.mx, anaflores1386@gmail.com, monica.lomeli.zavala@gmail.com, hernandez.luis@inifap.gob.mx, orozco.gabriela@inifap.gob.mx. *Autor responsable: Flores-Garnica José. **Autor corresponsal: Reyes-Cárdenas Oscar.

RESUMEN

Pinus cembroides subsp. *lagunae* es una conífera endémica de la Sierra La Laguna, Baja California Sur, México, cuya área de distribución se ha reducido, considerándose como vulnerable. Por ello, es necesario implementar su restauración y fomento, lo que requiere conocer su distribución potencial, que puede determinarse con información de sus requerimientos ecológicos. Pero se tiene poca información al respecto, presentándose como alternativa el algoritmo Maxent. Aunque Maxent deriva parámetros para evaluar la precisión de los resultados, estos se basan solo en la información de los sitios usados. Debido a esto, se realizó una validación externa, comparando la distribución definida con Maxent (óptima, buena, regular, baja y sin potencial), y la distribución potencial determinada con base en los requerimientos de altitud y precipitación (DAP) de esta especie. La cartografía de Maxent, dentro del área de estudio, con mayor precisión (global 85.9%) y concordancia (60.6 de índice Kappa) resultó usando los valores sin transformación. Mientras que dentro de La Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna la precisión global fue del 72.6% con una concordancia de 52.9 (índice Kappa). Se concluye que la distribución potencial determinada con Maxent fue similar a la definida con base en la altitud y precipitación.

Palabras clave: máxima entropía, Maxent, nicho ecológico, requerimientos ecológicos, matriz de confusión.

ABSTRACT

Pinus cembroides subsp. *lagunae* is a conifer endemic to the Sierra La Laguna, Baja California Sur, Mexico, whose range has been reduced to the degree of being considered vulnerable. Therefore, it is necessary to implement its restoration and promotion, which requires knowing its potential distribution, which can be determined with information of its ecological requirements. But little information is available on this, with the

Maxent algorithm being presented as an alternative. Although Maxent derives parameters to evaluate the accuracy of results, these are only based on information from the sites used. Because of this, an external validation was performed comparing the defined distribution with Maxent (optimal, good, regular, low, and no potential), and the potential distribution determined based on the altitude and precipitation requirements of this species. Maxent mapping within the study area with greater precision (overall 85.9%) and concordance (60.6 Kappa index) was performed using untransformed values. While within the Sierra La Laguna Biosphere Reserve, the overall accuracy was 72.6% with a concordance of 52.9 (Kappa index). It was concluded that Maxent's potential distribution was comparable to that determined based on altitude and precipitation.
Keywords: maximum entropy, Maxent, ecological niche, ecological requirements, confusion matrix.

INTRODUCCIÓN

Pinus cembroides subsp*. lagunae* (sinonimia *Pinus lagunae)* es una especie endémica de la Sierra La Laguna, en Baja California Sur, México (Breceda *et al*., 2014), manifestando un aislamiento geográfico (Axelrod, 1958), y se considera a este sitio como una isla de vegetación (Talavera & Massieu, 2021). Además, esta especie se distribuye en áreas pequeñas asociadas con *Quercus devia* Goldman (Ffolliott *et al*., 1992) en superficies mayores a 20,000 ha (INEGI, 2017). Sin embargo, actualmente se encuentra en condición de vulnerable como resultado de aprovechamientos maderables y la ocurrencia de incendios (Farjon, 2015), por lo que es necesario propiciar su recuperación y conservación, así como la de las poblaciones de especies asociadas (IUCN, 2019). Para esto, en principio, se debe conocer su distribución espacial, o potencial, lo cual sería sencillo si se conocieran sus requerimientos agroecológicos (Cartaya *et al*., 2016), ya que la distribución de una especie, en ausencia de competidores, está condicionada a su desempeño fisiológico y a restricciones ambientales, que definen que esta se mantenga en un lugar determinado sin que emigre, lo cual se conoce como nicho ecológico (Maciel-Mata *et al*., 2015). De esta forma, si se conoce la distribución espacial de los factores que definen el nicho (hábitat) de una especie, teóricamente es posible estimar su distribución potencial, siendo esto la base de los modelos geográficos de predicción (Palacios *et al*., 2016).

Una herramienta que apoya el modelado de nicho ecológico y de distribución de especies es el algoritmo Maxent, basado en el concepto de máxima entropía (Hernández-Herrera *et al*., 2019), y que ha resultado en predicciones precisas (Barrera *et al*., 2020), al discriminar las variables más significativas de los sitios donde la especie de interés ha sido detectada. Aunque frecuentemente se usan modelos generados por Maxent para definir la distribución de especies (Garfias *et al*., 2013; Cartaya *et al*., 2016; Aceves-Rangel *et al*., 2018), son pocos los trabajos orientados a validar sus resultados, más aún, estas validaciones se basan en análisis comparativos, pero usando la misma información que se usa para el proceso de Maxent. De esta forma, las predicciones resultantes

podrían considerarse incompletas, cuando no correspondan a todo el rango de distribución real de la especie, y que se define con base en la correspondencia de requerimientos ecológicos con variables ambientales relacionadas con la especie analizada (Palma-Ordaz & Delgadillo-Gutiérrez, 2014). De acuerdo con esto, se esperaría que la distribución definida con Maxent sea semejante a la que se puede definir en función de los requerimientos ecológicos de la especie de interés, lo cual implica un enfoque externo al proceso de Maxent. No obstante, no se tienen reportes de validaciones Maxent con el uso de información externa, por lo que el objetivo del presente estudio fue validar la cartografía de distribución de *P. lagunae* resultante de Maxent, tomando como referencia cartografía generada con un proceso externo. Para esto, se determinó con Maxent la probabilidad de ocurrencia de esta especie considerando cuatro transformaciones de los valores de salida. Mientras que en un proceso alternativo se basó en la distribución de los requerimientos ecológicos de *P. lagunae* con relación a la altitud y la precipitación. Los criterios de selección del mejor mapa fueron la mayor precisión y concordancia resultantes a partir de matrices de confusión.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio corresponde a la Reserva de la Biosfera de Sierra La Laguna (Figura 1), localizada en la parte más elevada del sur del estado de Baja California Sur, con una superficie de 112,437 ha (Breceda *et al*., 2014) y una altitud de 2,090 m (Jiménez *et al*., 2018), donde los suelos en su mayoría son originados de rocas intrusivas y granito, y son arenosos, con una capa delgada de hojarasca, con poco contenido de limo y arcilla (León-de la Luz & Domínguez-Cadena, 1989).

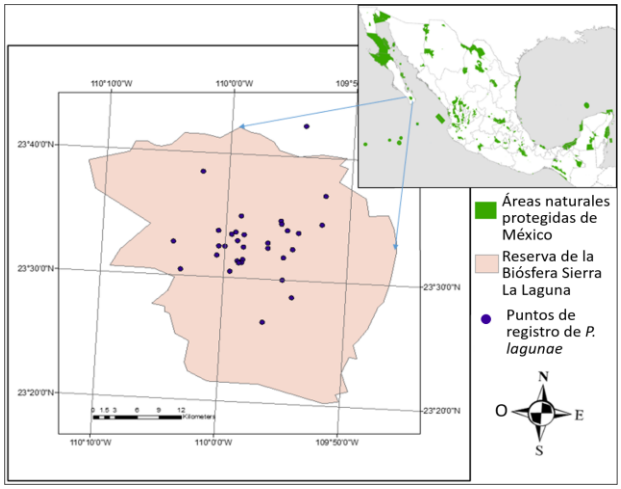

Figura 1. Ubicación de registros de ocurrencia de *Pinus lagunae* en la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna, ubicada en el estado de Baja California Sur (CONABIO, 2016; CONAFOR, 2015)

Requerimientos ecológicos de *Pinus lagunae*

Los requerimientos ambientales de *P. lagunae* se resumen en: ***a) Precipitación***. Se ubica en áreas con más de 600 mm de lluvia (Farjon, 2015; Perry, 1991); y ***b) Altitud*** (m). El rango altitudinal reportado para esta especie es: 523-2050 (León-de la Luz & Domínguez-Cadena, 1989; Passini & Pinel, 1989; Perry, 1991; Ffolliott *et al*., 1992; Biondi & Fessenden, 1999; Farjon, 2015; CONABIO, 2016).

Asimismo, *P. lagunae* se manifiesta en tres condiciones (Passini & Pinel, 1989): a) bosques de arbolado bajo y delgado de *P. lagunae* y *Quercus tuberculata* Liebm; b) bosques con arbolado alto y denso de *P. lagunae* y *Q. devia*; c) bosques altos y abiertos de *P. lagunae*. Por otra parte, *P. lagunae* se ubica en suelos ligeramente ácidos (pH varía de 5 a 7). Específicamente, *P. lagunae* ocurre en elevaciones entre los 1,600 y 2,050 m, asociándose con *Q. devia*, que es más abundante en la mayoría de las áreas (Passini & Pinel, 1989).

Registros de ocurrencia

Para determinar la distribución de *P. lagunae*, se utilizan datos de su hábitat, lo que en términos de modelaje se define como verdaderos positivos (presencia) y verdaderos negativos (ausencia) (Fielding & Bell, 1997). En el caso del proceso de Maxent, este se basa únicamente en los registros de presencia de la especie de interés. De acuerdo con esto, se utilizaron 141 puntos de registro de la presencia de *P. lagunae,* los cuales se obtuvieron de los registros correspondientes al Inventario Nacional Forestal y de Suelos (CONAFOR, 2015) y de CONABIO (2016).

Variables ambientales

Para definir el modelo de distribución de *P. lagunae* se emplearon 13 variables ambientales (Cuadro 1), cuya función es determinar restricciones para la distribución de esta especie, con base en lo cual se eligió la distribución de mayor entropía (Hernández-Herrera *et al*., 2019). La importancia de cada variable se determinó con base en su importancia relativa, la cual se define con los criterios de porcentaje de contribución (PC) e importancia de permutación (IP), que son evaluados por Maxent (Phillips, 2010). Posteriormente, se prueban diferentes combinaciones de variables seleccionadas hasta tener la que resulte en la máxima entropía, con base en la cual se generó el mapa de probabilidad de ocurrencia de *P. lagunae*.

Cuadro 1. Variables usadas para modelar la distribución potencial de *P. lagunae* en la Sierra La Laguna, Baja California Sur

Grupo	Variable	Unidades	Resolución (tamaño de celda)	Fuente
Clima	Clima	Clases	100 m	CONABIO (2008)
	Precipitación anual	mm	100 m	CONABIO (2008)
	Isotermas	°C	100 m	CONABIO (2008)
	Temp. media anual	°C	100 m	CONABIO (2008)
	Temp. máxima promedio	°C	100 m	CONABIO (2008)
	Temp. mínima promedio	°C	100 m	CONABIO (2008)
	Rango humedad	Clases	100 m	CONABIO (2008)
Suelo	Cobertura de suelo	Clase	100 m	CONABIO (2008)
	Uso de suelo modificado	Grupo	100 m	CONABIO (2008)
	Vegetación Serie VI	Clases	100 m	INEGI (2017)
	Régimen de hum. del suelo	Clases	100 m	CONABIO (2008)
Modelo	Exposición	grados	100 m	INEGI (2015)
elevación	Altitud	m	100 m	INEGI (2015)

Para generar el modelo de predicción del potencial de ocurrencia de *P. lagunae* se empleó un proceso de validación cruzada con 10 repeticiones, donde se consideran: **a)** la distribución de una variable ambiental dada, definida por los registros que se tienen de la ocurrencia de la especie; y **b)** la distribución general de la misma variable ambiental restrictiva. Posteriormente, en la unión de estas dos distribuciones se establece un punto de corte, de esta forma, cuando se está sobre este punto, se apoya la ocurrencia de la especie (verdaderos positivos), y, por el contrario, cuando se está bajo se rechaza (falsos positivos) (Hanley & McNeil, 1982).

Para evaluar las variables se definen dos parámetros: 1) Porcentaje de contribución (PC), que se calcula durante el desarrollo del modelo a partir de los cambios en la ganancia; y, 2) Importancia de permutación (IP), que se calcula al cambiar los valores de cada variable en las ubicaciones de entrenamiento y fondo para luego volver a evaluar el modelo (Phillips, 2010).

Enseguida, el modelo se reevalúa en los datos permutados y la caída resultante en el área bajo la curva (AUC) de entrenamiento se presentan valores normalizados a porcentajes. Para definir estas gráficas se hace una prueba de *jackknife* para generar un conjunto de modelos, donde en cada paso se excluye una variable y se crea un modelo con las variables remanentes. Asimismo, se crea un modelo usando cada variable de forma aislada. Adicionalmente, se crea un modelo usando todas las variables.

Valores de idoneidad

Las predicciones de la distribución de *P. lagunae* se representaron cartográficamente en cuatro formatos de trasformación de los valores de salida del modelo (Phillips *et al*., 2017; Phillips, 2010): **a)** No procesado (NP), derivado directamente del modelo exponencial de Maxent; **b)** Acumulativo, porcentaje acumulado de la posibilidad de presencia; **c)** Valor logístico de los datos NP; y **d**) Log-log (cloglog), derivada de un proceso Poisson no homogéneo. La probabilidad de presencia de la especie de interés, derivada de cada una de estas trasformaciones, estará supeditada al diseño de muestreo usado y número de sitios.

Validación interna

Como criterio de validación interna (Maxent) se empleó el concepto de AUC, método estándar para evaluar la precisión de una predicción (Barrera *et al*., 2020). Considerando que, al validar los resultados, A= Verdadero positivo; B= Aleatorio negativo; C= Falso negativo; y D= Aleatorio positivo, Maxent calcula la sensibilidad y la especificidad de los modelos para todas las posibilidades obtenidas, donde sensibilidad= A/(A+C) y especificidad= D/(B+D). Con esto se calcula el AUC, donde el eje de las abscisas es igual a (1-especificidad), mientras que en el eje de las ordenadas se ubica los valores de sensibilidad (Phillips, 2010). Para definir el AUC, se estableció una muestra de datos para la validación de la predicción, utilizando el 25% de los sitios como prueba (Garfias *et al*., 2013). Con base en esto, se generaron y compararon los valores del AUC de los puntos de entrenamiento y los puntos de prueba (Carrillo-Aguilar *et al.*, 2021).

Validación externa

La cartografía resultante con Maxent se validó en forma externa considerando la distribución de *P. lagunae* que se define con base en los requerimientos ecológicos que se reportan en la literatura (Austin *et al.*, 1996). Considerando esto, se generó un mapa en el que se delimitó el área de distribución potencial de *P. lagunae,* y se especificaron cuatro clases tomando en cuenta la variable más predominante. Este mapa se utilizó como referencia para la evaluación externa de los cuatro mapas de distribución de *P. lagunae* que se generaron en Maxent. Para esto se consideraron dos perspectivas de evaluación: 1) el área de distribución definida por el modelo de predicción, con 510 puntos de referencia; y, 2) el área dentro de la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna. Con base en esto, se consideraron 816 puntos de referencia. De esta forma, esta comparación se realizó a partir de una serie de matrices de confusión, que permiten determinar si la clase de posibilidad predicha con Maxent concuerda con la clase “real” (distribución determinada con requerimientos ecológicos), para lo cual se definieron la precisión global y el coeficiente kappa. Específicamente, el coeficiente Kappa determina en qué porcentaje es mejor el resultado de la matriz, con lo que resultaría de aplicar un

clasificador aleatorio que asignara al azar áreas de distribución potencial (Barrantes & Sandoval, 2016).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de contribución de las variables

La determinación de las variables más significativas para modelar la distribución de *P. lagunae*, así como su nivel de contribución al modelo de predicción, se presentan en el Cuadro 2. Los valores corresponden a promedios de las diez iteraciones realizadas.

Es importante considerar que el PC de cada variable está definido heurísticamente, implicando que depende de las variaciones de Maxent que se definieron al aplicar el programa. De esta forma, el rango de humedad fue la variable que contribuye con el 50% en la definición del modelo, seguido por la temperatura anual. Más aún, solo dos variables (Rango humedad y Temperatura media anual) contribuyen con el 63.6% del modelo, mientras que el resto de las variables contribuyen con menos del 10% cada una. Así mismo, debe considerarse que la contribución de las variables ambientales no debe entenderse necesariamente como la causa de la distribución de *P. lagunae*, sino que estas contribuyen a llegar a una buena separación entre las zonas idóneas y las zonas inadecuadas. Es decir, se asume que Maxent trabaja con información incompleta de las variables ambientales, y el número de sitios, por su número y distribución, no garantizan que se cubren todas las condiciones donde se distribuye la especie, por lo que Maxent selecciona la superficie de probabilidad de presencia que maximice su entropía. Esto implica que la contribución de las variables ambientales estará supeditada a que se abarque su mayor rango posible en la distribución y número de sitios, de esta forma se define un espectro más amplio de elección (alta entropía) para Maxent, es decir se tienen menos restricciones que si el rango de los valores de la variable fuera reducido.

La prueba *jackknife* muestra la importancia relativa de cada variable desde los siguientes parámetros (Figura 2): ganancia regularizada del entrenamiento, ganancia de la prueba y con relación a la AUC. En referencia a la ganancia regularizada del entrenamiento (Figura 2A), la variable con la más alta ganancia es la altitud, lo que implica que representa la información más útil para el modelo. Esta variable, mediante la prueba *jackknife*, aportó significativamente en la modelación de *Pinus Herrae Martínez*, en Jalisco (Ávila *et al*., 2014). También, la altitud es la variable que, al omitirla, define la menor ganancia, lo que sugiere que tiene gran parte de información que no se presenta en las otras variables. De acuerdo con esto, debe considerarse a la altitud como una variable relevante cuando se requiera implementar estrategia de restauración o fomento de Pinus lagunae. La Figura 2B muestra la misma prueba de *jackknife*, utilizando la ganancia de prueba, donde se pueden inferir las mismas conclusiones respecto a la altitud en relación con la gráfica anterior, sin embargo, tienen algunas variaciones como

es el caso la variable que vegetación Serie VI, cuya contribución al modelo se incrementó. Por último, la gráfica que utiliza la AUC muestra un aumento en la contribución de todas las variables, a excepción de la exposición que en los tres casos se mantiene baja (Figura 2C).

Cuadro 2. Porcentaje de contribución (PC) de cada variable e importancia en la permutación (IP) de las variables ambientales

Variable	PC	IP
Intervalos de humedad	50.4	6.4
Temperatura media anual	13.2	31.6
Isotermas	9.1	0.3
Altitud	6.9	23.4
Cobertura de suelo	5.8	21.5
Régimen de humedad suelo	4.3	1.5
Precipitación anual	3	5.4
Temperatura mínima promedio	2.2	3.4
Temperatura máxima promedio	2	1.2
Clima	1.6	0.4
Uso de suelo modificado	1.4	4
Exposición	0.1	1
Vegetación Serie VI	0	0

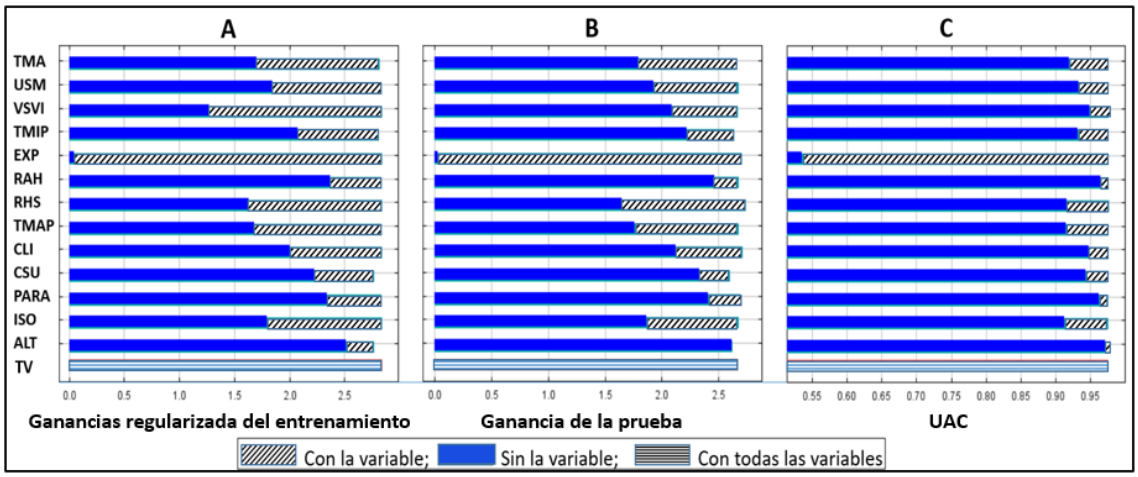

Figura 2. Comparación de la importancia de las variables ambientales, a través del método *jackknife* en relación a tres parámetros, en la determinación de la posibilidad de ocurrencia del *Pinus lagunae*: **TMA**= Temperatura media anual; **USM**= Uso de suelo modificado; **VSVI**= Vegetación Serie VI; **TMIP**= Temperatura mínima promedio; **EXP**= Exposición; **RAH**= Rango de humedad; **RHS**= Régimen de humedad de suelo; **TMAP**= Temperatura máxima promedio; **CLI**= Clima; **CSU**= Cobertura de suelo; **PARA**= Precipitación anual; **ISO**= Isotermas; **ALT**= Altitud; **TV**= Todas las variables.

Acierto de la predicción o Valoración interna

Teóricamente se esperaría que el AUC de los datos de entrenamiento y de los datos de prueba fueran idénticos, definiendo un valor de AUC igual a 1, por lo que valores cercanos a 1 son resultado de un buen ajuste del modelo. En este estudio, se obtuvo una AUC media de 0.972, con una desviación estándar de 0.025 (Figura 3), por lo que se considera que el modelo ubica adecuadamente la ocurrencia de *P. lagunae*, es decir el valor de AUC indica que el modelo es mejor que el azar (Ovando-Hidalgo *et al*., 2020). Estudios similares reportan, para especies de pino, valores de AUC entre 0.922 (*P. oocarpa*) y 0.982 (*P. pringlei*) (Aceves-Rangel *et al*., 2018). Mientras que, para otras especies, como Cedrela odorata, se presentan valores de AUC de 0.926 (Hernández *et al*., 2018). Con respecto a esto, se ha señalado que para una predicción razonable del modelo el valor AUC es mejor al encontrarse en un rango de 0.7 a 0.9 (Ibarra-Díaz *et al*., 2016), considerándose un modelo muy bueno cuando el valor es mayor de 0.80 (Gutiérrez *et al*., 2018).

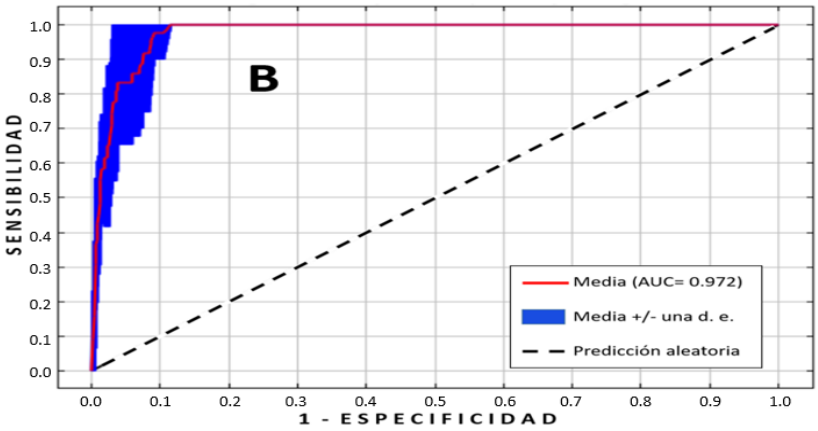

Figura 3. Área Bajo la Curva (AUC) resultante del análisis del modelo desarrollado en Maxent para determinar la probabilidad de ocurrencia de *P. lagunae*, con base en solo registros de presencia de la especie

Cartografía de distribución

Con base en el modelo de probabilidad de ocurrencia definido, se generaron los mapas de distribución potencial de *P. lagunae* (Figura 4), los cuales se presentan en los cuatro formatos de salida (Phillips *et al*., 2017; Phillips, 2010). A excepción del mapa de valores no procesados (Figura 4A), en general el modelo predijo una distribución de *P. lagunae* en un área mayor que la distribución que resulta de la consideración de los parámetros de altitud y precipitación (Figura 5). Esto se aprecia más en las zonas norte, sur y oeste de la distribución, mientras que en la zona este tuvieron límites muy similares, aunque en la porción noreste se ubica una diferencia en la distribución. En cambio, los mapas que se presentan en la Figura 4 muestran que, en todas las trasformaciones, el mayor

potencial de ocurrencia de esta especie se ubica aproximadamente en la parte centro de la Reserva de la Biósfera Sierra La Laguna. Es decir, donde se ubican las mayores altitudes, lo cual corrobora la influencia de esta variable en la distribución de la especie. Por otra parte, las trasformaciones logísticas y del tipo clog-log resultaron en una distribución del potencial de ocurrencia prácticamente idéntico. Mientras que la transformación acumulativa reduce el mayor potencial de ocurrencia principalmente en una franja central (norte-sur) de la Reserva. Por otra parte, el modelo muestra una amplia distribución en el rango de altitud entre 1,100 y 1300 m, la cual rebasa el polígono de la Reserva. Asimismo, el modelo ubica áreas de distribución que se ubican en altitudes menores a las registradas para *P. lagunae* (523 msnm). En el Cuadro 3 se presentan las superficies resultantes para cada condición, para los mapas de altitud y de cada trasformación.

Validación externa

Para validar los mapas resultantes del algoritmo Maxent (sin trasformación, logístico, acumulativo y clog-log), se consideró como mapa base (control) de la distribución potencial para *P. lagunae* al mapa definido con base a los requerimientos ecológicos de esta especie. Para esto, cada mapa se clasificó en cuatro clases (óptimo, alto, regular y bajo), cuyos rangos se presentan en el Cuadro 4. En el caso del mapa base, se establecieron rangos de altitud, que fue la variable de mayor influencia en la determinación de la distribución de *P. lagunae*.

Área total de predicción

En referencia a la evaluación del área completa de distribución de *P. lagunae*, los resultados (Cuadro 5) muestran que el mapa con los valores no trasformados fue el que obtuvo la mayor precisión global y el mayor índice Kappa.

Para determinar la precisión de la clasificación para cada clase de área potencial para la distribución de *P. lagunae*, mediante el método sin procesar los datos, que fue el que mostró mayor precisión global, se estableció la exactitud productora. Con ello, se calcularon los errores de omisión y de comisión (Sánchez, 2016). En el Cuadro 5, se observa la tendencia de que a mayor prioridad del área para *P. lagunae* es mayor el error en el mapa, tanto excluyendo pixeles en áreas donde se deberían incluir (omisión) como incluyendo pixeles en áreas equivocadas (comisión).

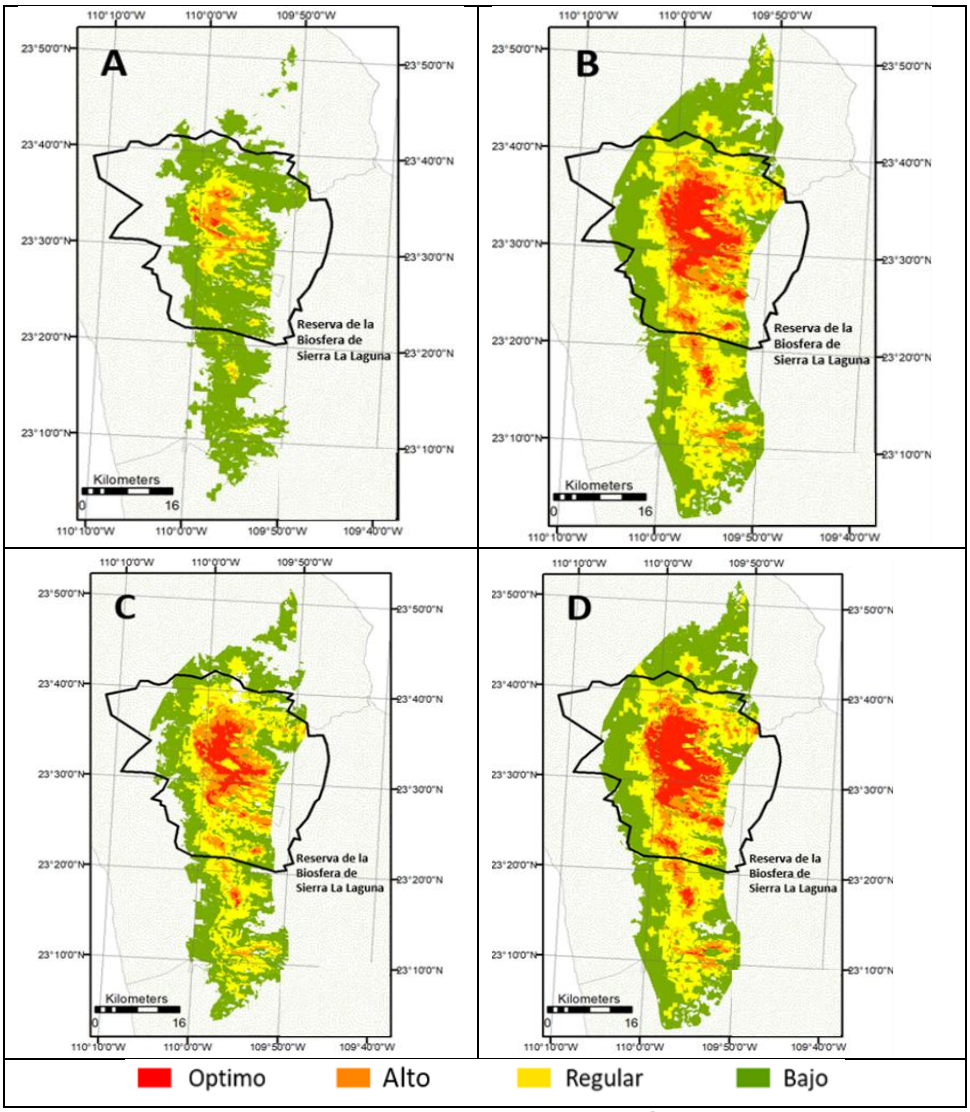

Figura 4. Modelo generado con Maxent para la distribución de *P. lagunae* empleando cuatro transformaciones para los valores de salida: A) No procesado; B) Logístico; C) Acumulativo; D) Clog-Log.

Por otra parte, se analizó la precisión para cada clase de áreas de prioridad para *P. lagunae* (Cuadro 6), observándose que el área de condición buena es la que presenta mayor error de omisión. Mientras que la categoría de regular muestra el mayor error de comisión, lo cual puede ser propiciado por el número (Aceves-Rangel *et al*., 2018) y la ubicación de los sitios de referencia.

Cuadro 3. Superficies (ha) correspondientes a cada condición, para los mapas de altitud y de cada trasformación

Condición	Altitud (msnm)	Sin trasformación	Logístico	Acumulativo	Clog-Log
Bajo	71,610	74,361	77,856	65,988	79,612
Medio	17,899	14,286	51,254	36,639	47,331
Alto	12,124	4,550	20,340	15,317	18,615
Óptimo	6,711	963	14,346	8,352	16,307

Cuadro 4. Intervalos de clasificación del mapa base (altitud) y de los mapas resultantes de Maxent (probabilidad), referentes a la distribución de *P. lagunae*

Condición	Altitud (m)	Sin transformación	Logístico	Acumulativo	Clog-Log
Óptimo	1600-2000	0.0109-0.0339	0.5891-0.9507	66.275-100.000	0.7177-1.000
Alto	1350-1600	0.0051-0.0109	0.3654-0.5891	41.569-66.275	0.4353-0.7177
Regular	1150-1350	0.0019-0.0051	0.1977-0.3654	21.961-41.569	0.2275-0.4353
Bajo	500-1150	0.0004-0.0019	0.0635-0.1977	6.667-21.961	0.0707-0.2275

Cuadro 5. Estadísticos de comparación de la cartografía por Maxent con relación al mapa basado en los requerimientos ecológicos de *P. lagunae*

Estadístico	Área	Sin transfor.	Acumulativo	Logístico	Clog-Log
Precisión global (%)	Total	85.9	80.4	70.4	69.4
	Reserva	72.6	66.2	55.2	54.9
Índice Kappa	Total	60.6	52.9	35.5	34.1
	Reserva	52.9	47.0	33.2	32.7

Cuadro 6. Evaluación de la confiabilidad cartográfica desde la perspectiva de los errores del usuario (comisión) y del productor (omisión)

Condición	Área	Error de omisión	Error de comisión
Óptimo	Total	100%	0
	Reserva	*77.1%*	*11.1%*
Alto	Total	92.9%	66.7%
	Reserva	*90.3%*	*73.9%*
Regular	Total	73.1%	56.3%
	Reserva	*79.7%*	*78.6%*
Bajo	Total	35.6%	40.5%
	Reserva	*36.9%*	*38.9%*
Sin potencial	Total	1.8%	7.0%
	Reserva	*3.1%*	*14.3%*

Área de la Reserva

Se compararon los mapas considerando el área correspondiente a la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna, observándose resultados similares a la comparación de los mapas en el área total. De esta forma, los valores mayores de precisión global y del índice Kappa corresponden a los mapas de los métodos no procesados y el acumulativo. Cabe mencionar que el método logístico es recurrentemente utilizado para la generación de mapas de distribución de especies y se obtienen resultados precisos (Reynoso *et al*., 2018), sin embargo, en el presente estudio, este método resultó en los valores más bajos, superado por el mapa del método clog-log, ubicándose las diferencias entre ambos mapas en los límites de la zona de estudio, sobre todo en la parte norte y sur, aunque estas se ubican fuera de los límites de la Reserva de La Biosfera Sierra La Laguna (Figura 5).

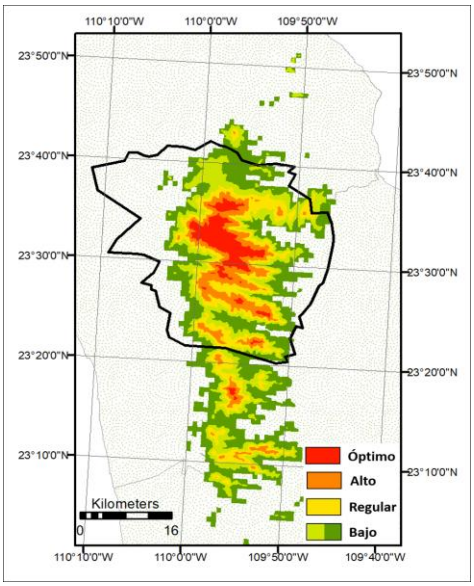

Figura 5. Área de distribución de *Pinus lagunae* con base en los requerimientos ecológicos, a) precipitación anual ≥ 600 mm; y b) intervalo altitudinal entre 523 - 2,000 m

CONCLUSIONES

Referente a la valoración interna, a partir del criterio de AUC se establece que el modelo generado ubica adecuadamente la ocurrencia de *P. lagunae*, donde las variables que definieron mejor su distribución espacial fueron la temperatura media anual, el rango de humedad y la altitud. Esta última variable también fue relevante en la definición de la distribución de esta especie que se definió al considerar los requerimientos ecológicos de *P. lagunae*. Esto implica que la altitud es la variable que debe considerarse principalmente en la distribución espacial de esta especie. En lo correspondiente a la validación externa, aunque la cartografía resultante varió al implementar las

trasformaciones de salida, en general, fue similar al mapa generado con base a los requerimientos ecológicos de *P. lagunae*. En cuanto a la comparación de la cartografía derivada de los modelos Maxent, el método de salida con los valores sin trasformación es el que muestra mayor precisión global y una mayor concordancia. Así mismo, la categoría de distribución potencial óptima fue la que mayormente se omite, mientras que, en el área de la Reserva, la categoría de distribución potencial regular fue la más sobrestimada. Desde la perspectiva ecológica, los resultados obtenidos apoyan desde dos perspectivas a la distribución de esta especie: a) se define las áreas potencialmente óptimas, donde se puede apoyar la continuidad su endemismo; y b) se ubican áreas potenciales de distribución, para fines de restauración o fomento.

Finalmente, es importante considerar que los resultados están supeditados al número y distribución de sitios usados, así como por las variables usadas, por lo que, desde la perspectiva de Maxent, se pueden enfocar nuevos estudios considerando otras variables, como tipo de vegetación, pendiente, sequía etc., así como el uso de un mayor número y mejor distribución de sitios donde se tenga evidencia de la presencia de *P. lagunae*. Por otra parte, se requieren estudios para determinar los requerimientos ecológicos de esta especie considerando más variables, como tipo de suelo, temperatura media, temperatura máxima, período de estiaje, etc.

LITERATURA CITADA

ACEVES-RANGEL LD, Méndez-González J, García-Aranda MA, Nájera-Luna JA. 2018. Distribución potencial de 20 especies de pinos en México. *Agrociencia*. 52:1043-1057. https://agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/1721

AUSTIN GE, Thomas CJ, Houston DC, Thompson BA. 1996. Predicting the spatial distribution of buzzard Buteo buteo nesting areas using a geographical information system and remote sensing. *Journal of Applied Ecology*. 33(6):1541-1550.

https://doi.org/10.2307/2404792

ÁVILA R, Villavicencio R, Ruiz JA. 2014. Distribución potencial de Pinus herrerae Martínez en el occidente del estado de Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 5(24):92-109.
https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/322

AXELROD DI. 1958. Evolution of the Madro-Tertiaty geoflora. *The Botanical Review*. 24(7):433–509. https://link.springer.com/article/10.1007/BF02872570

BARRANTES O, Sandoval L. 2016. Uso/cobertura de la tierra en los cantones de Upala, Guatuso y Los Chiles en el año 2011. *Revista Geográfica de América Central*. 1(56):59-91. https://doi.org/10.15359/rgac.1-56.3

BARRERA R, González R, Treviño EJ, Vargas B, López R. 2020. Áreas potenciales para establecer Unidades Productoras de Germoplasma Forestal con dos variedades de Pinus pseudostrobus en México. *Bosque*. 41(3):277-287.

http://revistas.uach.cl/index.php/bosque/article/view/6270

BIONDI F, Fessenden JE. 1999. Radiocarbon analysis of Pinus lagunae tree rings: implications for tropical dendrochronology. *Radiocarbon*. 41(3):241-249.

https://doi.org/10.1017/S0033822200057118

BRECEDA A, Sosa J, Jiménez CL, Ortega-Rubio A. 2014. Conservación en la Reserva de la Biósfera Sierra la Laguna, Baja California Sur: logros y retos. *Investigación y Ciencia*. 60:78-84. https://doi.org/10.33064/iycuaa2014603696

CARRILLO-AGUILAR DM, Flores-Villegas MY, García-Ramírez P, Chávez-Simental JA, Domínguez-Calleros PA. 2021. Distribución potencial de insectos descortezadores de los géneros Dendroctonus e Ips en la Sierra Madre Occidental de Durango, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. 29(84), e3240. https://doi.org/10.33064/iycuaa2021843240

CARTAYA S, Anchundia C, Mantuano R. 2016. Distribución geográfica potencial de la especie Cuniculus Paca en el occidente de Ecuador. La Granja. *Revista de Ciencias de la Vida.* 24(2):134-154. https://www.redalyc.org/journal/4760/476051632010/html/

CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad), 2008. Portal de geoinformación. Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad.

http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/usv/otras/usv731mgw.

CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad), 2016. Piñon de Baja California (Pinus cembroides subsp. lagunae). enciclovida. http://enciclovida.mx/especies/203179-pinus-cembroides-subsp-lagunae.

CONAFOR (Comisión Nacional Forestal), 2015. Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2009-2014. Baja California Sur. Sistema Nacional de Monitoreo Forestal. En: https://snmf.cnf.gob.mx/datos-del-inventario/ .

Farjon A. 2015. *Pinus cembroides* subsp. lagunae. Threatened Conifers of the World https://threatenedconifers.rbge.org.uk/conifers/pinus-cembroides-subsp.-lagunae.

FFOLLIOTT PF, Gottfried GJ, Bennett DA, Hernandez VM, Ortega-Rubio A, Hamre RH. 1992. Ecology and management of oak and associated woodlands: perspectives in the southwestern United States and northern Mexico. General Technical Report RM-218. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment. Station. Fort Collins, CO: U.S. Pp. 224. https://doi.org/10.2737/RM-GTR-218

FIELDING AH, Bell JF. 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation*. 24(1):38-49.

https://doi.org/10.1017/S0376892997000088

GARFIAS R, Castillo M, Toral M, Adasme C, Navarro R. 2013. Determinación de la distribución actual y potencial de bosque nativo mediante análisis espacial en SIG. Estudio de caso: Tipo Forestal Roble-Raulí-Coigüe en Chile. *Interciencia*. 38(8):577-584. https://www.redalyc.org/pdf/339/33928557005.pdf

GUTIÉRREZ O, Cámara R, Senciales JM, García LV. 2018. Modelos predictivos en Biogeografía: aplicación para la modelización de nichos ecológicos en Geografía Física. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles.* 78:88–126.

https://doi.org/10.21138/bage.2395

HANLEY JA, McNeil BJ. 1982. The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic curve. *Radiology.* 143:29-36.

https://doi.org/10.1148/radiology.143.1.7063747

HERNÁNDEZ J, Reynoso R, Hernández A, García X, Hernández E, Cob JV, Sumano D. 2018. Distribución histórica, actual y futura de Cedrela odorata en México. *Acta Botánica Mexicana.* 124, e1305. https://doi.org/10.21829/abm124.2018.1305

HERNÁNDEZ-HERRERA JA, Moreno-Reséndez A, Valenzuela-Núñez LM, Martínez-Salvador M. 2019. Modelación de la presencia de *Euphorbia antisyphilitica* Zucc mediante propiedades físicas y químicas del suelo. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*. 6(18):499-511. https://doi.org/10.19136/era.a6n18.1910

IBARRA-DÍAZ I, Lebgue-Keleng T, Viramontes-Olivas O, Reyes-Cortes I, Ortega-Gutierrez JA, Morales-Nieto C. 2016. Modelo de nicho fundamental para Coryphantha chihuahuensis (Cactaceae) en el estado de Chihuahua, México. *Ecología Aplicada*. 15(1):11-17. https://doi.org/10.21704/rea.v15i1.578.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), 2015. Topografía. México.

https://www.inegi.org.mx/temas/topografia/

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), 2017. Guía para la interpretación de cartografía. Uso de suelo y vegetación serie VI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. Pp. 210.

https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825092030.pdf

IUCN (International Union for Conservation of Nature), 2019. The species survival commission. International Union for Conservation of Nature.

https://www.iucn.org/theme/species/about/species-survival-commission.

JIMÉNEZ ML, Palacios-Cardiel C, Maya-Morales J, Berrian JE. 2018. Nuevos registros de arañas (Arachnida: Araneae) para la Región del Cabo, península de Baja California, México. *Acta Zoológica Mexicana*. 34:1–13. https://doi.org/10.21829/azm.2018.3412159

LEÓN-DE la Luz JL, Domínguez-Cadena R. 1989. Flora of the Sierra de La Laguna, Baja California Sur, México. *Madroño.* 36(2):61-83. https://www.jstor.org/stable/41424739

MACIEL-MATA CA, Manríquez-Morán N, Octavio-Aguilar P, Sánchez-Rojas G. 2015. El área de distribución de las especies: revisión del concepto. *Acta Universitaria*. 25(2):3-19. https://www.redalyc.org/pdf/416/41638006001.pdf

OVANDO-HIDALGO N, Tun-Garrido J, Mendoza-González G, Parra-Tabla, V. 2020. Efecto del cambio climático en la distribución de especies clave en la vegetación de duna costera en la península de Yucatán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 91:1-17. https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2020.91.2883

PALACIOS A, Rodríguez R, Hernández M de la L, Jiménez E, Tirado D. 2016. Distribución potencial de Prosopis laevigata (Humb. et Bonpl. ex Willd) M. C. Johnston basada en un modelo de nicho ecológico. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 7(34):35-46.

https://doi.org/10.29298/rmcf.v7i34.81

PALMA-ORDAZ S, Delgadillo-Rodríguez J. 2014. Distribución potencial de ocho especies exóticas de carácter invasor en el estado de Baja California, México. *Botanical Sciences*. 92(4):587-597. https://www.scielo.org.mx/pdf/bs/v92n4/v92n4a10.pdf

PASSINI MF, Pinel N. 1989. Ecology and distribution of *Pinus lagunae* in the Sierra de la Laguna, Baja California Sur, México. *Madroño*. 36:84-92.

https://www.jstor.org/stable/41424740

PERRY JL. 1991. The pines of México and Central America. Portland, Oregon. Timber Press. Pp. 231.

PHILLIPS E. 2010. A brief tutorial on Maxent. *Lessons in Conservation*. 3:108-135. https://www.amnh.org/content/download/141371/2285439/file/a-brief-tutorial-on-maxent.pdf

PHILLIPS SJ, Anderson RP, Dudík M, Schapire RE, Blair M. E. 2017. Opening the black box: an open-source release of Maxent. *Ecography*. 40:887–893. https://doi.org/10.1111/ecog.03049

REYNOSO R, Pérez MJ, López W, Hernández J, Muñoz HJ, Cob JV, Reynoso MD. 2018. El nicho ecológico como herramienta para predecir áreas potenciales de dos especies de pino. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 9(48):47-70.

https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i48.114

SÁNCHEZ JM. 2016. Análisis de calidad cartográfica mediante el estudio de la matriz de confusión. *Pensamiento matemático.* 6(2):9-26. https://revista.giepm.com/wp-content/uploads/revista_impresa/vol_VI_num_2/inv_calidad_carto.pdf

TALAVERA I, Massieu YC. 2021. Conservación y sustentabilidad en la península de Baja California Sur: iniciativas comunitarias y políticas erráticas. *HorizonTes Territoriales*. 1(1):1–27. https://horizontesterritoriales.unach.mx/index. php/Revista/article/view/4

Abanico Boletín Técnico. ISSN: 3061-8452.
https://abanicoacademico.com/abanicoboletintecnico/index
abanicoboletin@gmail.com

Abanico Boletín Técnico. Enero-Diciembre, 2025; 4:1-7.
Artículo Original. e2024-50.

Características fisicoquímicas e índices de cosecha de *Agave cupreata*

Physicochemical characteristics and harvest indices of *Agave cupreata*

Vargas-Álvarez Dolores[1], Abelardo Analco Hernández[1], Agustín Damián Nava[3], Francisco Palemón Alberto[3], Flaviano Godínez Jaimes[2], Mairel Valle de la Paz[1], Elías Hernández Castro*[3]

[1]Universidad autónoma de guerrero, Facultad de Ciencias Químico Biológicas, Iguala, Guerrero, México. [2]Universidad autónoma de guerrero, Facultad de Matemáticas. Avenida Lázaro Cárdenas s/n colonia la haciendita Chilpancingo Guerrero C. P. 39000. Iguala, Guerrero, México. [3]Universidad autónoma de guerrero, Producción integral de alimentos. Maestría en gestión Local y ciencias Agropecuarias. Iguala, Guerrero, México.

Resumen

Objetivo: Evaluar la caracterización de los tipos de agaves cosechado en diferentes estados de madurez en estatus crudo y cocido. Diseño/metodología/aproximación: Se empleó un diseño completamente al azar. Se recolectaron plantas de *Agave cupreata* de forma silvestre en dos estados de madurez, Velilla y Capón. La recolección se llevó a cabo en la localidad de Petaquillas, municipio de Chilpancingo, Guerrero. Se seleccionaron plantas que cumplieran una edad de 9 a 12 años. Se realizó el corte de las pencas para la extracción de la piña. Se tomaron 500 g de muestra las cuales fueron lavadas con agua corriente. Para ambos estados de madurez se midió la cantidad de jugo y posteriormente se le determinaron la cantidad de fibra húmeda, porcentaje de humedad y grados Brix. El proceso de cocción fue realizado en horno de piedra y leña por un lapso de 3 días, una vez esto se determinó la cantidad de jugo, cantidad de fibra, humedad y grados Brix. Resultados: El agave Capón en crudo presentó mayor cantidad de jugo y fibra, pero menor cantidad de humedad y grados Brix en comparación con el Velilla. Se puede observar el aumento de los grados Brix en el agave cocido Capón, este aumento no se observó para el caso de Velilla. Posterior al proceso de cocción se aumenta ligeramente la cantidad de fibras en ambos estados de madurez. El maguey Velilla mostró un rendimiento menor que el Capón, aunque es el punto de madurez más abundante utilizado por los productores. Limitaciones del estudio/implicaciones: Es importante controlar y estandarizar los procesos de obtención del mezcal para aumentar el rendimiento de este. Además, de un manejo sustentable de esta especie en la obtención de mezcal. Hallazgos/conclusiones: El estado de madurez Capón fue el que demostró ser el mejor estado de madurez en la cosecha del agave para la producción de mezcal, ya que su producción de solidos solubles como azúcares es mayor.
Palabras clave: capón, velilla, madurez, agave.

Abstract

Objective: Evaluate the characterization of the types of agaves harvested in different stages of maturity in raw and cooked status. Design/methodology/approach: A completely randomized design was used. *Agave cupreata* plants were collected from the wild in two stages of maturity, Velilla and Capón. The collection was carried out in the town of Petaquillas, municipality of Chilpancingo, Guerrero. Plants that reached an age of 9 to 12 years were selected. The stalk were cut for pineapple extraction. 500 g of sample were taken, which were washed with running water. For both stages of maturity, the amount of juice was measured and later the amount of wet fiber, moisture percentage and Brix degrees were determined. The cooking process was carried out in a stone and wood oven for a period of 3 days, once the amount of juice, amount of fiber, humidity and Brix degrees were determined. Results: The raw Capón agave had a higher amount of juice and fiber, but a lower amount of moisture and Brix degrees compared to the velilla. The increase in Brix degrees can be observed in the capón cooked agave, this increase was not observed in

the case of velilla. After the cooking process, the amount of fibers is slightly increased in both states of maturity. The velilla maguey showed a lower yield than the capón, although it is the most abundant point of maturity used by producers. Limitations on study/implications: It is important to control and standardize the processes for obtaining mezcal to increase its performance. In addition, a sustainable management of this species in obtaining mezcal. Findings/conclusions: The capón state of maturity was the one that proved to be the best stage of maturity in the agave harvest for the production of mezcal, since its production of soluble solids such as sugars is higher.
Keywords: capon, velilla, maturity, agave.

INTRODUCCIÓN

Desde la época precolombina el maguey o Agave es empleado para la elaboración del mezcal; el término mexcal o mezcal se supone que proviene del náhuatl mexcalli (Esparza-Ibarra *et al*., 2015). El género está dividido dentro de dos subgéneros Agave y Littea, el subgénero Agave es de valor económico por la producción de fibras naturales resistentes, y principalmente bebidas alcohólicas y ha sido usado desde tiempos precolombinos para materiales de construcción y medicinas naturales (Gil Vega *et al.,* 2001).

El género Agave Linneo, agrupa 375 especies todas ellas en el continente Americano, de las cuales solo algunas especies son utilizadas para elaborar mezcal; entre ellas tenemos al *A. angustifolia* Hawort, *A. esperrima* Jacobi, *A. potatorum* Zucc, *A. salmiana* Otto, *A. cupreata* Trel & Berger. Estas especies tienen que cumplir con etapas de maduración y muchas otras características para poder ser procesados. En este proceso se incluye la selección, recolección, horneado y triturado de las cabezas de Agave, así como también fermentación, destilación y envasado del producto final que es el mezcal (Illsley, 2007).

El *Agave cupreata* es procesado para elaborar el mezcal en el estado de Guerrero, se cosecha en los bosques secos tropicales, bosques de robles y otros hábitats de las comunidades rurales (Chavez-Parga *et al*., 2016). En estas comunidades rurales los campesinos han denominado nombres a cada uno de los agaves que se someterán al proceso como son: capón, velilla y espina floja de los cuales se desconoce sus características fisicoquímicas.

Esta denominación es derivada de condiciones o características visuales, a partir de técnicas utilizadas para el agave para mejorar la calidad del mezcal. Entre estas se encuentra el capado, que consiste en cortar el vástago floral a una altura menor a 1.5 metros, después de caparlo se deja en pie el agave por un tiempo no mayor a un año. Cuando la planta llega a una edad madura e inicia la formación del escapo floral se considera que la planta está lista para ser cosechada, a este punto de madurez se le conoce como “velilla” (Illsley *et al*., 2018).

El mezcal ha logrado tener un gran auge en los mercados de la República Mexicana y en los mercados Internacionales; por tal motivo es de gran importancia desarrollar medidas que permitan alcanzar la excelencia en la calidad del Mezcal y así reforzar la Denominación de Origen.

MATERIAL Y MÉTODOS

Toma de muestras

Se recolectaron plantas de maguey de forma silvestre en dos estados de madurez, Velilla y Capón. La recolección se llevó a cabo en la localidad de Petaquillas, municipio de Chilpancingo, Guerrero. Se seleccionaron plantas que cumplieran una edad de 9 a 12 años.

Se realizó el corte de las pencas para la extracción de la piña, se rasuró la misma para obtener el corazón. Se tomaron 500 g de muestra tratando de tomar parte de las pencas y corazón de la piña depositándola en hielo para su transporte. Las muestras tomadas fueron lavadas con agua corriente.

Para ambos estados de madurez se midió la cantidad de jugo y posteriormente se le determinaron la cantidad de fibra húmeda, la cual fue secada a 90°C por 12 h, para conocer el porcentaje de humedad. Los grados Brix fueron medidos con ayuda de un refractómetro.

El proceso de cocción fue realizado en horno de piedra y leña por un lapso de 3 días, una vez esto se determinó de igual manera la cantidad de jugo, cantidad de fibra, humedad y grados Brix. Se empleó un diseño completamente al azar

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al comparar entre los dos estados de maduración en crudo nos encontramos que, el agave capón presentó mayor cantidad de jugo y fibra, pero menor cantidad de humedad y grados Brix en comparación con el Velilla (Figura 1).

Un factor importante en la producción de mezcal es la cantidad de jugo presente, pero sobre todo la cantidad de azúcares reductores totales (ART). Para mayor rendimiento del jugo es necesario pasar por un proceso de cocción correcto, en un tiempo necesario para que los polisacáridos sean hidrolizados por la acción de la acidez del jugo y térmicamente para obtener un jarabe rico en fructosa (Chavez-Parga *et al*., 2016). Estudios han revelado que la mayor concentración de azúcares totales se presenta en la piña cocida y el alcohol obtenido en la fermentación depende de la cantidad de azúcares reductores presentes (Núñez *et al*., 2012), y con esto se determina la cantidad de mezcal que se obtenga, es por ello que el correcto control de estas variables en este proceso es de gran importancia para mejorar el rendimiento de los azúcares.

Este se fenómeno se puede observar con el aumento de los grados brix en el agave cocido Capón (Figura 2). No obstante, este aumento no se observó para el caso de Velilla. La diferencia entre las etapas de madurez se encuentra que en el estado de Velilla las plantas de agave se cosechan directamente, pero el estado Capón se deriva de un manejo especial, pues previo a la cosecha, se seleccionan aquellas plantas que han iniciado el desarrollo de su escapo floral, para ser cortado, esto para la acumulación de los azúcares (Illsley *et al*., 2018), esta acumulación de azúcares se puede ver reflejado en el aumento de los grados brix tras el proceso de cocción, ya que este mide la cantidad

de sólidos solubles presentes en un jugo o pulpa expresados en porcentaje de sacarosa en el jugo del agave (Barbagelata *et al*., 2019).

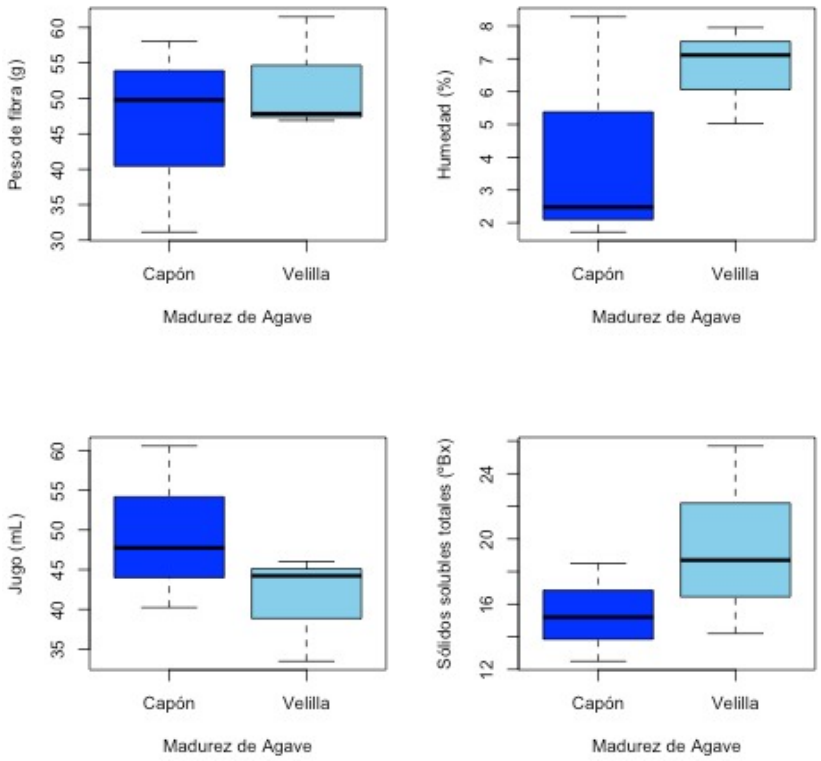

Figura 1. Puntos de madurez del agave crudo en Capón y Velilla

Se puede observar también que, posterior al proceso de cocción se aumenta ligeramente la cantidad de fibras en ambos estados de madurez, pues en este proceso hay pérdida de líquidos por la evaporación lo que aumenta la cantidad de humedad, además que, al utilizar un horno elaborado artesanalmente de piedras y leña, esta absorbe los líquidos que escurren durante el horneado.

El maguey Velilla mostró un rendimiento menor que el Capón, aunque es el punto de madurez más abundante utilizado por los productores. El conocimiento tradicional de los productores es que cada tipo de agave tiene su potencial para dar una calidad específica de características organolépticas del mezcal; así mismo, la condición de la nutrición en agaves cultivados tienen referentes del contenido de minerales que, indican un índice de cosecha para estos (Zuñiga, 2013). La edad de la planta es otro factor importante en el aumento de la concentración de carbohidratos y la dispersión de fructanos (Aldrete-Herrera *et al*., 2019). Además, se debe considerar la manera artesanal de obtención del mezcal, ya que al no ser un proceso industrializado no se pueden controlar correctamente las condiciones en cada fase de obtención del mezcal. Estos resultados podrían mejorarse si el proceso alcanzara un grado de industrialización más alto.

El proceso de capado es utilizado en los magueyes para la obtención de aguamiel y garantizar mayor cantidad de savia. Aunque comercialmente ya no producirá aguamiel para la elaboración de pulque y miel, ofrecerá otro tipo de usos igualmente útiles (Vázquez *et al*., 2016), como la utilización de subproductos en este caso la fibra, que se demostró tener un buen rendimiento en esta investigación, con un aumento tras el proceso de cocción, entre los usos ha demostrado ser un buen sustrato en algunos cultivos (Íñiguez *et al*., 2011), en la industria de la construcción para la elaboración de bloques, tejas, tabiques, entre otros (Olivera *et al*., 2018), así como en la industria textil (Campaña *et al*., 2020).

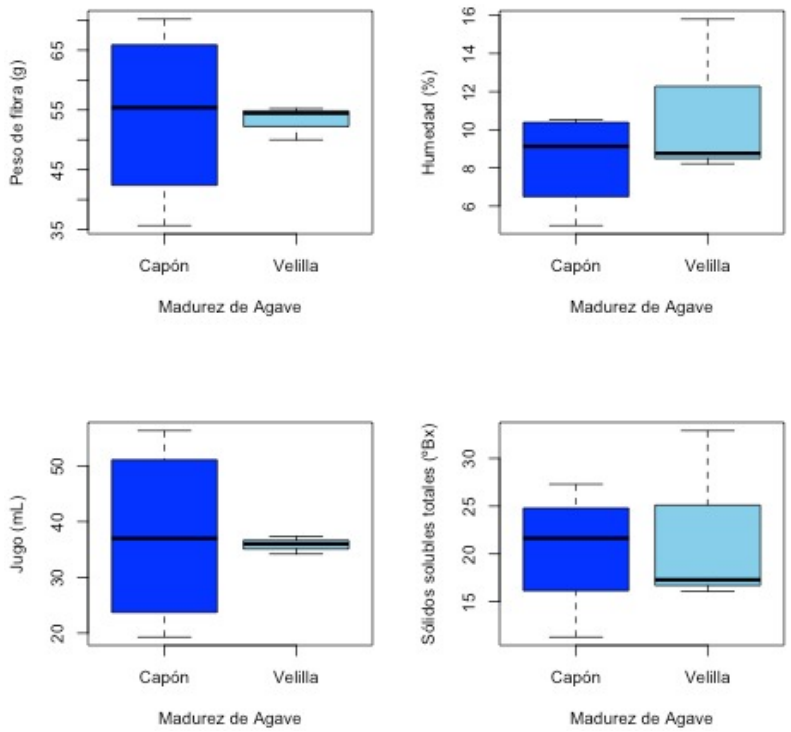

Figura 2. Puntos de madurez del agave cocido en Capón y Velilla

Por todo lo anterior, se considera al estado de madurez de Capón como la mejor etapa para la recolección de las plantas de agave, sin embargo, el uso tradicional no controlado de esta técnica pone en riesgo el factor ambiental. De acuerdo a la NOM-005-RECNAT-1997, que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de corteza, tallos y plantas completas de vegetación forestal. Se busca aprovechar las plantas de maguey en etapa de madurez, como dejar distribuidos uniformemente en el área de aprovechamiento, sin intervenir como mínimo el 20% de las plantas en etapa de madurez para que lleguen a la floración y asegurar su reproducción por semilla (DOF, 1997). Es decir 2 de cada 10 plantas no deben ser sometidas al proceso de capado. Este sistema de aprovechamiento debe ser regulado en todas las plantaciones de agave que implementen estas técnicas de recolección de agave. Con la finalidad de mantener un manejo sustentable de agave.

CONCLUSIÓN

El estado de madurez Capón fue el que mostró ser el mejor estado de madurez en la cosecha del agave para la producción de mezcal, ya que su producción de solidos solubles como azúcares es mayor. Sin embargo, es importante controlar y estandarizar los procesos de obtención del mezcal para aumentar el rendimiento de este. Además, se sugiere un control en el manejo de esta especie para conseguir un proceso de obtención de mezcal sustentable.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Empresa Avecanor por el apoyo y las facilidades brindadas para la realización de este estudio.

DECLARACIÓN DE NO CONFLICTOS DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses en ninguno de los temas relacionados al presente estudio.

LITERATURA CITADA

Aldrete-Herrera PI, López MG, Medina-Torres L, Ragazzo-Sánchez JA, Calderón-Santoyo M, González-Ávila M, Ortiz-Basurto RI. 2019. Physicochemical Composition and Apparent Degree of Polymerization of Fructans in Five Wild Agave Varieties: Potential Industrial Use. *Foods. 8*(9):404. https://doi.org/10.3390/foods8090404

Barbagelata R, Fuentes V, Baschini M. 2019. Grados Brix (índice refractométrico): Concepto Fisicoquímico Aplicado a la Resolución de un Problema Agronómico. *Industria y Quimica.* 369*:*11-14.

Campaña KO, Remache AP. 2020. Caracterización mecánica de fibras nuevas y centenarias de agave americana l. *Espacios.* 41(47):382-389. https://doi.org/10.48082/espacios-a20v41n47p27

Chavez-Parga MDC, Pérez Hernández E, González Hernández JC. 2016. Revisión del agave y el mezcal. *Revista Colombiana de Biotecnología.* 18(1). https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v18n1.49552

DOF. 1997. *NORMA Oficial Mexicana NOM-005-RECNAT-1997, Que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de corteza, tallos y plantas completas de vegetación forestal*. México.

Esparza-Ibarra E, Violante-González J, Monks S, Iñiguez J, Araujo-Andrade C, Rössel-Kipping E. 2015. Los agaves mezcaleros del altiplano Potosino y Zacatecano. *Estudios en Biodiversidad.* 20:227-245.

Gil Vega K, González Chavira M, Martínez de la Vega O, Simpson J, Vandemark G. 2001. Análisis de diversidad genética en Agave tequilana var. Azul usando marcadores RAPD. *Euphytica.* 119(3):335-341. https://doi.org/10.1023/A:1017553107303

Illsley C. 2007. *Programa de manejo campesino de recursos naturales*. Grupo de Estudios Ambientales. https://agua.org.mx/biblioteca/programa-de-manejo-campesino-de-recursos-naturales/

Illsley C, Torres-García I, Hernández JJ, Morales P, Varela R, Ibáñez I, Nava H. 2018. Manual de manejo campesino de magueyes mezcaleros forestales. Grupo de Estudios Ambientales, AC.

Íñiguez G, Martínez GA, Flores PA, Virgen G. 2011. Utilización de subproductos de la industria tequilera: Parte 9. Monitoreo de la evolución del compostaje de dos fuentes distintas de bagazo de agave para la obtención de un substrato para jitomate. *Revista internacional de contaminación ambiental.* 27(1):47-59.

Kirchmayr M, Arellano M, Estarrón M, Gallardo J, Gschaedler A, López J, Navarro A, Prado R, Ramírez E. 2014. Manual para la estandirazación de los procesos de producción del mezcal guerrerense. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C.

Núñez RÁ, Pérez BR, Motzezak RH, Chirinos M. 2012. Contenido de azúcares totales, reductores y no reductores en Agave cocui Trelease. *Multiciencias.* 12(2):129-135.

Olivera AA, Caballero Caballero M, Alavéz Ramírez R, Chiñas Castillo F, Montes Bernabé JL, Silva Rivera ME, Olivera AA, Caballero Caballero M, Alavéz Ramírez R, Chiñas Castillo F, Montes Bernabé JL, Silva Rivera ME. 2018. Biocompuesto cemento tepexil reforzado con fibras de Agave angustifolia Haw. Como mortero ligero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas. 9*(SPE21). 4406-4415.
https://doi.org/10.29312/remexca.v0i21.1531

Vazquez A, Aliphat MM, Estrella NG, Órtiz E, Ramírez J, María A. 2016. El maguey pulquero, una planta multifuncional y polifacética: Los usos desde una visión mestiza e indígena. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. https://www.redalyc.org/journal/148/14849184004/html/

Zuñiga L. 2013. Nutrición de Agave tequilana y manejo de los fertilizantes en un sistema de producción intensiva (riego por goteo). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Centro de Investigación Regional del Noreste Campo Experimental Las Huastecas Villa Cuauhtémoc, Tam.

Abanico Boletín Técnico. ISSN: 3061-8452.
https://abanicoacademico.com/abanicoboletintecnico/index
abanicoboletin@gmail.com

Abanico Boletín Técnico. Enero-diciembre, 2025; 4:1-13.
Revisión de Literatura. Clave: e2023-55.

Importancia del bienestar animal en la ganadería: mejorando la salud y la productividad

Importance of animal welfare in livestock: improving health and productivity

Santacruz-Melendrez Milagros [ID], Urrea-Quezada Alejandro [ID], Nieblas-López Manuel [ID], Zamorano-Algandar Ricardo [ID], Osuna-Chávez Reyna* [ID]

[1]Departamento de Agricultura y Ganadería, Universidad de Sonora. Email: *reyna.osuna@unison.mx

Resumen

El cuidado del bienestar animal es fundamental para optimizar la producción, esto refleja una responsabilidad ética que impacta en cómo los consumidores perciben los productos. La creciente demanda por prácticas responsables ha motivado a los productores a implementar normas internacionales que apoyan la sostenibilidad. Esta opción no solo facilita la entrada en mercados más rentables, sino que también mejora la rentabilidad a largo plazo. Además, un manejo que reduzca el estrés y garantice condiciones adecuadas de vida, incrementa la calidad de productos como la leche y la carne. Así mismo, la prevención de enfermedades facilitada por el buen cuidado de los animales reduce los costos en veterinaria, asegurando una producción más saludable y eficiente. En definitiva, aplicar buenas prácticas de bienestar animal no solo optimiza los resultados económicos, sino que también eleva la calidad de los productos, promoviendo una producción más ética y sostenible.

Palabras Clave: bienestar animal, ganadería, sostenibilidad, rentabilidad.

Abstract

Animal welfare care is essential for optimizing production and reflects an ethical responsibility that impacts how consumers perceive products. The growing demand for responsible practices has prompted producers to adopt international standards that support sustainability. This adoption not only facilitates entry into more profitable markets but also enhances long-term profitability. Additionally, management that reduces stress and ensures proper living conditions improves the quality of products such as milk and meat. Likewise, disease prevention, supported by good animal care, reduces veterinary costs, and ensures a healthier and more efficient production process. In summary, implementing good animal welfare practices not only optimizes economic outcomes but also improves product quality, promoting a more ethical and sustainable production.

Keywords: animal welfare, livestock, cattle, sustainability, profitability.

INTRODUCCIÓN

El bienestar de los animales en la producción ganadera no sólo es crucial para una producción óptima, sino que, también, refleja un valor ético que influye en el comportamiento del consumidor. Con el creciente reconocimiento de la producción responsable, se alienta a los productores a seguir directrices internacionales que

promuevan el trato ético de los animales. Este cambio de prácticas abre mercados más rentables y conduce a una mayor rentabilidad a largo plazo.

El cuidado adecuado de los animales mejora la salud y la longevidad de estos, pero también, mejora la calidad de sus productos como la leche y la carne. Además, el uso de técnicas de reducción del estrés y prevención de enfermedades puede ayudar a los ganaderos a ahorrar en costos, aumentando la eficiencia de la producción. Así mismo, el cambio hacia obtener productos con procesos éticos está transformando la industria ganadera, dando como resultado prácticas más sostenibles que benefician tanto al ganado como a los productores. La protección de los animales es un factor crucial para lograr una producción ganadera ética y de alta calidad en este contexto (Collier, *et al* 2006).

Orígenes del concepto de bienestar animal

La evolución del bienestar animal ha sido notable desde sus primeras manifestaciones hasta el presente (Fraser, 2008). En la antigüedad, aunque civilizaciones como las egipcias, griegas y romanas mostraron cierto grado de respeto hacia los animales, este respeto rara vez se concretaba en prácticas efectivas de protección. Durante la Edad Media, la perspectiva cristiana influyó en la percepción de los animales como criaturas divinas, pero las medidas de protección eran limitadas y en gran medida orientadas a su uso en beneficio de los humanos (Grandin, 2014).

Con el Renacimiento, el interés en la biología y la anatomía creció, llevando a una mayor comprensión de los animales, pero la experimentación a menudo se realizaba sin considerar su sufrimiento (Grandin, 2007). En el siglo XVIII, la Revolución Industrial impulsó la necesidad de una regulación más estricta, lo que llevó a la introducción de la primera legislación de protección animal en 1822 en el Reino Unido con la "Martin's Act". Esta ley marcó el inicio de un movimiento más organizado hacia la protección de los animales. Durante el siglo XIX, surgieron diversas organizaciones dedicadas al bienestar animal, como la Royal Society for the Prevention of Cruelty to Animals (RSPCA). Estas entidades promovieron leyes, prácticas más humanas y el reconocimiento científico, donde la capacidad de los animales para sentir dolor empezó a influir en las prácticas de investigación y uso de animales.

El siglo XX trajo consigo un avance significativo en el reconocimiento formal de los derechos de los animales, impulsado en parte por la publicación de "Animal Liberation" de Peter Singer en 1978 (Peter, 2003) que ayudó a impulsar el movimiento por los derechos animales. A finales del siglo XX y principios del XXI, se introdujeron leyes y regulaciones más rigurosas. El Tratado de Lisboa de 2009, por ejemplo, reconoció a los

animales como seres sensibles en la Unión Europea, marcando un hito al exigir que sus intereses sean considerados en la elaboración de políticas. (Rushen *et al.,* 2011).
Actualmente, el activismo y la conciencia sobre el bienestar animal se han intensificado con organizaciones como PETA y Humane Society International, liderando la promoción de reformas legislativas y la educación pública. En la actualidad, la investigación y la tecnología se centran en mejorar el bienestar animal y en encontrar métodos alternativos a la experimentación. La producción animal también está sujeta a normas éticas más estrictas.

Un hito crucial en la evolución del bienestar animal fue la publicación del informe Brambell en 1965, que introdujo las "Cinco Libertades": la libertad de hambre y sed, la libertad de incomodidades, la libertad de dolor, lesiones y enfermedades, la libertad para expresar comportamientos naturales, y la libertad de miedo y angustia. Estas libertades se han convertido en un marco fundamental para la protección y promoción del bienestar animal, adoptado por organizaciones internacionales y esencial en la evaluación de las condiciones en sistemas de producción ganadera (OIE, 2019). Así, los hitos y legislaciones clave a lo largo de la historia han sido fundamentales para avanzar en el bienestar animal, demostrando un compromiso creciente con la protección y el trato ético de los animales en diversos contextos. El cambio de actitudes hacia el bienestar animal refleja una mayor empatía y comprensión, marcando una transformación significativa en cómo tratamos a los animales.

Comportamiento natural y bienestar animal en la ganadería

Los bovinos, al ser animales de pastoreo, presentan una serie de comportamientos naturales esenciales que permiten comprender su bienestar y la satisfacción de sus necesidades. Estos comportamientos son reflejo de sus adaptaciones evolutivas y su entorno natural. El pastoreo es una actividad fundamental para ellos, ya que dedican gran parte de su tiempo a buscar y consumir vegetación; esta práctica es crucial para su nutrición, dado que son rumiantes que necesitan una dieta rica en fibra para mantener una digestión saludable. La capacidad de seleccionar una dieta variada durante el pastoreo es clave para su salud digestiva y general.

Otro comportamiento importante es el acicalamiento, en el cual los bovinos utilizan sus lenguas para limpiar su pelaje y se frotan contra objetos como árboles o postes. Este comportamiento ayuda a mantener el pelaje en buen estado y a eliminar parásitos, al mismo tiempo que fortalece los vínculos sociales dentro del grupo (Lima, 2008). El acicalamiento mutuo fomenta la cohesión social y el bienestar general.
La estructura social de los bovinos está organizada jerárquicamente con relaciones de dominancia y sumisión que mantienen el orden y reducen los conflictos. Los bovinos de

rango superior tienen acceso preferencial a recursos como comida y agua, lo cual es esencial para mantener el equilibrio social y minimizar el estrés. El rumiado es otro comportamiento clave que consiste en regurgitar y volver a masticar el alimento parcialmente digerido. Este proceso permite una mejor digestión y absorción de nutrientes, especialmente de materiales vegetales fibrosos. Una disminución en el tiempo dedicado al rumiado puede ser un indicativo de problemas digestivos o estrés. El descanso y el sueño son vitales para la salud física y mental de los bovinos. Buscan áreas suaves y protegidas para descansar, y una adecuada posición de descanso contribuye a una buena digestión y circulación sanguínea. Cambios en los patrones de descanso o signos de inquietud pueden señalar problemas de bienestar físico o emocional. Además, los bovinos buscan refugio en condiciones climáticas adversas, como lluvia, frío o calor extremo, utilizando estructuras naturales o artificiales. Un aumento en la búsqueda de refugio puede ser un signo de que el entorno es incómodo o estresante para ellos. También, los bovinos jóvenes participan en actividades lúdicas como correr y jugar, las cuales son cruciales para su desarrollo motor y social. Una reducción en estas actividades puede indicar estrés o problemas en su desarrollo.

Entender estos comportamientos naturales es fundamental para identificar signos de estrés. Cualquier desviación de estos comportamientos habituales puede indicar malestar (Moberg, 2000). Por ejemplo, una disminución en el tiempo de pastoreo o una reducción en el interés por la comida puede ser un indicio de estrés físico o emocional. Una menor frecuencia de acicalamiento puede reflejar problemas de bienestar y alteraciones en las interacciones sociales. Alteraciones en la estructura social, como un aumento en los conflictos, pueden señalar tensiones dentro del grupo.

Por otro lado, el estrés térmico es otro aspecto importante que considerar. Los bovinos tienen una capacidad limitada para disipar el calor en comparación con otras especies; a diferencia de los humanos que regulan su temperatura a través del sudor, los bovinos dependen de la respiración para enfriarse. En condiciones de calor extremo, la respiración se intensifica, lo que puede afectar negativamente la eficiencia productiva y la salud general del ganado, llevando a una disminución en la ingesta de alimento y a problemas graves como golpes de calor (Brown-Brandl *et al.,* 2005).

Para evaluar el bienestar de los bovinos de manera efectiva, es crucial emplear una variedad de métodos, donde la observación directa del comportamiento es esencial; el monitorear actividades como el pastoreo, el acicalamiento, el descanso y el juego pueden proporcionar indicios de estrés o malestar. Por lo que, la evaluación del estado físico debe incluir la inspección de la condición corporal, el estado del pelaje y la presencia de

lesiones; también, es importante monitorear los parámetros vitales, como la temperatura corporal, la frecuencia cardíaca y respiratoria, además de la ingesta de alimentos y agua. El uso de herramientas de evaluación estructural, como los sistemas de puntuación de condición corporal y protocolos estandarizados como el Welfare Quality®, facilitan una evaluación cuantitativa del bienestar. Las entrevistas y encuestas con el personal de manejo también proporcionan información valiosa sobre las prácticas de manejo y las condiciones del entorno (Welfare, 2009).

Finalmente, evaluar el entorno y las condiciones de manejo es esencial; el revisar las instalaciones, el acceso a alimentos y agua, y las condiciones de alojamiento, pueden ayudar a identificar deficiencias que contribuyen al estrés. Al combinar estos métodos, se puede lograr una evaluación integral del bienestar de los bovinos y llevar a cabo intervenciones adecuadas para mejorar su calidad de vida.

Impacto del bienestar animal en la productividad ganadera

La relación entre el bienestar animal y la salud es crucial para entender cómo el estrés puede afectar negativamente, tanto la salud general, como el rendimiento de los animales, particularmente en el ganado bovino (Broom, 2019). El bienestar animal no solo implica la ausencia de sufrimiento, sino también la promoción de condiciones óptimas en las que los animales puedan expresar comportamientos naturales y satisfacer sus necesidades físicas y psicológicas. El estrés es un factor determinante que puede deteriorar significativamente la salud y el rendimiento de los bovinos. Cuando estos animales enfrentan estrés, ya sea debido a factores ambientales, sociales o físicos, se desencadenan respuestas fisiológicas y psicológicas que impactan negativamente su bienestar. (Moberg, 2000).

El estrés en los bovinos tiene efectos significativos y perjudiciales en diversos aspectos de su bienestar. Entre los efectos más prominentes se encuentran las alteraciones en la salud, ya que el estrés crónico puede impactar gravemente el sistema inmunológico de los bovinos, haciéndolos más vulnerables a enfermedades e infecciones (Grandin, 2008). Esto ocurre debido a la activación del eje hipotálamo-hipófiso-adrenal que resulta en la liberación de hormonas del estrés como el cortisol, donde niveles elevados y prolongados de cortisol pueden suprimir la función inmune, aumentando la incidencia de enfermedades respiratorias, digestivas y ralentizando la recuperación de enfermedades. Además, el estrés afecta negativamente el rendimiento productivo de los bovinos. En situaciones de estrés térmico, por ejemplo, se observa una disminución en la ingesta de alimento, lo que reduce su desarrollo y la producción de leche. También puede afectar la reproducción, provocando una disminución en la tasa de concepción y un aumento en los

abortos, manifestando claramente cómo el bienestar animal influye en la productividad. (Gantner *et al.,* 2011).

El estrés también se manifiesta en problemas de comportamiento; los bovinos estresados pueden mostrar comportamientos anormales como agresión, automutilación o ansiedad, lo que altera la dinámica social del grupo y aumenta el riesgo de lesiones. Estos cambios en el comportamiento reflejan un malestar subyacente que también impacta en la salud general de los animales. Finalmente, el estrés interfiere con la calidad de vida de los bovinos al dificultar su capacidad para descansar, alimentarse y socializar adecuadamente. Condiciones ambientales adversas, como el calor extremo o el hacinamiento, pueden impedir que los animales encuentren áreas adecuadas para el descanso contribuyendo a un ciclo continuo de malestar. En conjunto, estos efectos destacan la importancia de gestionar adecuadamente las condiciones de vida de los bovinos para asegurar su bienestar, salud y rendimiento óptimo (Rushen *et al.,* 2011).

En la producción de leche, las vacas que viven en entornos que minimizan el estrés no solo muestran mejores condiciones de salud, sino que también producen mayores cantidades de leche y de mejor calidad. En la producción de carne; el estrés pre-sacrificio afecta el metabolismo muscular de los bovinos, alterando el pH de la carne y, por ende, sus propiedades organolépticas como sabor, color, textura, jugosidad y aroma, llevando a que sea menos atractiva para el consumidor; en contraste, la carne que se obtiene cuando se ofrece un manejo adecuado al ganado resulta de mejor calidad, lo que aumenta su valor comercial y rentabilidad para los productores (Bicalho *et al*.,2009).

Promover prácticas de manejo que prioricen el bienestar de los animales contribuye a una producción más eficiente y sostenible, llevando a una reducción en los costos en salud, una mejora en la calidad de los productos y una mayor satisfacción del consumidor, lo anterior se traduce en beneficio tanto a los animales, como a los productores (Smith & Grandin, 2004).

Estrategias para mejorar el bienestar en la ganadería

Para contrarrestar los efectos adversos del estrés en la salud y el rendimiento de estas estrategias, se reconoce la necesidad de proporcionar un entorno adecuado que incluya suficiente espacio, una buena ventilación, acceso continuo a alimentos y agua fresca. Aunado a esto, es fundamental reducir los factores estresantes que pueden afectar a los animales, como los cambios bruscos en el manejo, las condiciones ambientales extremas y los conflictos sociales entre los bovinos.

Una de las prácticas recomendadas para mejorar el manejo del ganado es la adopción de un enfoque tranquilo y libre de gritos. Crear un ambiente sereno utilizando refuerzos positivos y vocalizaciones suaves puede ser altamente beneficioso. Estudios han demostrado que este tipo de manejo no solo disminuye el estrés en los bovinos, sino que también facilita su desplazamiento dentro de las instalaciones ganaderas, lo que, a su vez, mejora la eficiencia operativa.

El diseño del entorno y la consideración de factores acústicos son igualmente importantes; un espacio diseñado para reducir el eco y la reverberación contribuye a un manejo más calmado y controlado de los animales (Patterson, 2019). Es importante mencionar, que la capacitación del personal también juega un papel crucial en la implementación de prácticas adecuadas. Una formación continua en técnicas de manejo sin gritos y sin alaridos es esencial para mejorar tanto el bienestar de los animales como la productividad general de la explotación ganadera.

En cuanto al manejo sin violencia, este se basa en principios etológicos que evitan métodos que provoquen miedo o dolor, entre los cuales están algunas estrategias de enriquecimiento conectivo que no solo incluyen elementos físicos, si no también estímulos sensoriales como sonidos y olores que reducen el aburrimiento y el estrés (Grandin, 2019).

El diseño adecuado de las instalaciones, incluyendo corrales y rampas curvadas, facilita el movimiento natural de los bovinos y reduce su nivel de estrés (Moberg, 2000). La construcción de instalaciones debe considerar el bienestar animal al emplear paredes sólidas para minimizar distracciones visuales y mejorar el flujo de los animales. La evidencia científica respalda que un diseño adecuado de las instalaciones no solo mejora el bienestar animal, sino que también, optimiza la eficiencia operativa reduciendo las vocalizaciones y la resistencia al movimiento de los bovinos (Mitlöhner *et al.,* 2001).

Para mejorar el manejo del ganado en feedlots (área confinada destinada para el engorde intensivo de ganado en corrales) y reducir el estrés térmico, es necesario implementar medidas como la provisión de sombra, una ventilación adecuada y sistemas de enfriamiento evaporativo. Ajustar los horarios de alimentación también puede ser una estrategia efectiva para evitar la exposición al calor extremo y maximizar el consumo de alimento durante las horas más frescas del día. En conjunto, estas prácticas no solo ayudan a reducir el estrés en los animales, sino que también mejoran la calidad de la carne y generan beneficios económicos para los productores. Por último, una formación adecuada del personal en técnicas de manejo es fundamental, para asegurar un trato

seguro y eficiente, esto contribuye a la reducción de lesiones en los animales y al aumento de la calidad de la producción (Gaughan *et al.,* 2010).

Beneficios económicos y sostenibilidad

Cabe redundar, que el adecuado manejo del ganado no solo contribuye significativamente al bienestar animal, sino que también tiene repercusiones directas en la productividad y la rentabilidad de las explotaciones ganaderas (Broom, 2019). Un entorno que garantice suficiente espacio, ventilación, y acceso constante a alimentos y agua es fundamental para maximizar tanto el rendimiento de los animales como la eficiencia operativa. Cuando el ganado es sometido a métodos de manejo bruscos y estresantes, se observa un impacto negativo en su salud y en la calidad de los productos obtenidos. Asimismo, los gastos en salud tienden a aumentar cuando el manejo no es adecuado, debido a las lesiones y enfermedades relacionadas con el estrés. Como se mencionó anteriormente, cada día hay más investigaciones que han demostrado que los métodos de manejo que priorizan el bienestar animal no solo elevan la calidad del producto final, sino que también optimizan la eficiencia operativa al reducir los costos de atención veterinaria y, en consecuencia, mejorar la rentabilidad a largo plazo (Grandin, 1997).

De igual manera, en la producción lechera, el bienestar animal juega un papel crucial en la eficiencia y rentabilidad de las explotaciones (Rushen *et al* (2011). Las vacas que viven en condiciones óptimas, con camas limpias, buena ventilación y nutrición adecuada, no solo producen más leche, sino que también presentan menos problemas de salud como la mastitis. Esto lleva a una mayor productividad, mejor estatus sanitario, reduciendo perdidas en la producción de leche, en las tasas de mortalidad y morbilidad.

De manera similar sucede en la producción de carne, un manejo adecuado que reduzca el estrés, que mantenga buenas condiciones de ventilación y limpieza en los corrales, mejora el crecimiento y la ganancia de peso de los animales; esto se traduce en un mejor rendimiento en el sacrificio. Según los métodos que minimizan el estrés durante el transporte y el sacrificio, no solo optimizan la conversión alimentaria y el crecimiento, sino que también mejoran la calidad de la carne (Ferguson & Warner, 2008).

A menudo el bienestar animal ha sido percibido como un costo adicional, pero ha demostrado ser una inversión estratégica a largo plazo para las explotaciones ganaderas. Al reducir la necesidad de tratamientos veterinarios, disminuir la morbilidad y mortalidad, y aumentar la longevidad productiva, donde los productores pueden maximizar su retorno sobre la inversión.

Regulaciones y normativas sobre bienestar animal

La legislación actual y los estándares internacionales en bienestar animal reflejan una creciente preocupación por el trato ético hacia los animales en la ganadería. Los "Cinco Principios de Libertad" del Consejo de Bienestar de los Animales de Granja (FAWC) establecen que los animales deben estar libres de hambre, incomodidad, dolor, enfermedades, miedo y angustia. Los métodos violentos y coercitivos en el manejo de animales infringen estos principios, particularmente en lo que respecta a la libertad de vivir sin dolor y sin miedo. En respuesta a esta preocupación, muchos países están implementando regulaciones más estrictas sobre el manejo del ganado, siguiendo las directrices de organizaciones como la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE). Estas leyes, como las de la Unión Europea, prohíben prácticas que causen dolor innecesario. Los países productores de carne han adoptado programas que no solo cumplen con estos estándares internacionales, sino que también ofrecen incentivos económicos para promover buenas prácticas.

La creciente demanda de los consumidores por productos que respeten el bienestar animal ha impulsado la creación y adopción de estas normativas. Organismos internacionales, como la OIE y la FAO, destacan la importancia de capacitar al personal en prácticas de manejo ético para mejorar el bienestar animal (FAO, 2012). Esta ética en el manejo ha ganado relevancia debido a la mayor conciencia pública y la demanda de productos responsables, impulsando a los productores a equilibrar la eficiencia con el respeto hacia los animales (OIE, 2019).

Además de cumplir con las expectativas del mercado, las normativas internacionales promueven la sostenibilidad de las explotaciones ganaderas al reducir el impacto ambiental y mejorar la percepción social de los productos. De este modo, las regulaciones aseguran la viabilidad a largo plazo de las explotaciones y refuerzan el compromiso con prácticas responsables y éticas en la producción ganadera.

Perspectivas futuras en el bienestar animal

El campo del bienestar animal está en constante evolución, impulsado por los avances en ciencia y tecnología, así como por las cambiantes demandas de los consumidores y la creciente presión para mejorar las condiciones en la ganadería. Se anticipa que en los próximos años se desarrollen nuevas investigaciones que exploren áreas como la cognición animal, el manejo del dolor y la optimización del bienestar a lo largo de toda la vida de los animales. Al mismo tiempo, las regulaciones están avanzando hacia normas más rigurosas, especialmente en regiones como la Unión Europea que tienen políticas de bienestar animal más robustas.

Con el aumento de la demanda de productos producidos éticamente, las empresas y los productores deben adaptarse para seguir siendo competitivos en el mercado global. Esta mayor atención al bienestar animal crea oportunidades tanto para veterinarios como para productores, subrayando la importancia de utilizar índices estandarizados. Estos índices proporcionan una evaluación objetiva del bienestar animal, ayudando a identificar áreas de mejora para cumplir con los estándares éticos y productivos. El implementar y monitorear estos índices es esencial para que las explotaciones ganaderas mantengan prácticas adecuadas de bienestar animal; esto, a su vez, impacta positivamente en la productividad y rentabilidad, promoviendo una producción más eficiente y sostenible a largo plazo en línea con las expectativas de los consumidores y los requisitos de las normativas internacionales.

CONCLUSIONES

En la producción ganadera el bienestar animal se ha establecido como un aspecto esencial tanto del punto de vista ético, como del económico. Garantizar condiciones óptimas para los animales no solo es un imperativo moral, sino que actúa como una inversión estratégica que mejora la calidad y rentabilidad de los productos derivados del ganado. Las investigaciones muestran que las prácticas de bienestar adecuadas reducen los costos operativos y aumentan la productividad, siendo también cruciales para satisfacer las demandas crecientes de los consumidores, cumpliendo con las normativas internacionales. Para esto, la implementación de índices estandarizados y la capacitación continua del personal son vitales, ya que esto permite mantener elevados los estándares de bienestar, promoviendo una producción más ética, eficiente y sostenible. Así, la industria ganadera responde a las expectativas sociales regulatorias, asegurando su viabilidad y competitividad en el mercado global.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BICALHO RC, Vokey F, Erb HN, Guard CL. 2009. Visual locomotion scoring in the first seventy days in milk: impact on pregnancy and survival. *Journal of Dairy Science*. 92(10): 4672-4683.

BENSON L. 2015. Educación en el manejo del bienestar animal. *Revista de Bienestar Animal.* 9(2):123-135.

BROOM DM. 2010. Animal welfare: An aspect of care, sustainability, and food quality required by the public. *Journal of Veterinary Medical Education*. 37(1):83-88.

BROOM DM. 2019. Animal Welfare in the Beef Industry. *Journal of Animal Science*. 97(4): 1895-1902.

BROWN-BRANDL TM, Eigenberg RA, Nienaber JA, Hahn GL. 2005. Comparison of heat tolerance of feedlot heifers of different breeds. *Journal of Animal Science*. 83(3)1562-1570.

COLLIER RJ, Dahl GE, VanBaale MJ. 2006. Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 89(4):1244-1253.

FAO (2012). World Livestock 2012: Animal Welfare and Livestock Production Systems. FAO.

FERGUSON DM, Warner RD. 2008. Have we underestimated the impact of pre-slaughter stress on meat quality in ruminants? *Meat Science*. 80(1)12-19.

FRASER D. 2008. Entendiendo el bienestar animal: la ciencia en su contexto cultural. Wiley-Blackwell.

GANTNER V, Mijić P, Kuterovac K, Solić D, Gantner R. 2011. The impact of animal welfare on dairy production. *Mljekarstvo*. 61(3):223-234.

GAUGHAN JB, Mader TL, Holt SM, Lisle A. 2010. A new heat load index for feedlot cattle. *Journal of Animal Science*. 88(1)232-241.

GERRARD CL, Parsons DJ, Wilson P. 2019. Consumer perceptions of farm animal welfare, meat quality, and traceability in Europe: An integrative review. *Meat Science*. 156:1-11.

GONZÁLEZ J, Martínez A, Romero C. 2016. Impacto de la vocalización en el comportamiento social de aves. *Comportamiento y Ecología*. 27(1):145-159.

GRANDIN T. 1997. Handling and Welfare of Livestock. CAB International.

GRANDIN T. 2001. Livestock Handling and Transport: Improving Animal Welfare. Cambridge University Press.

GRANDIN T. 2007. Improving Animal Welfare: A Practical Approach. Cambridge University Press.

GRANDIN T. 2008. Humane Livestock Handling: Understanding Livestock Handling.

GRANDIN T. 2014. Improving Animal Welfare: A Practical Approach. CABI Publishing.

GRANDIN T. 2019. Behavioral Principles of Handling Cattle and Other Grazing Animals under Extensive Conditions. The Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice. 35(1):1-12.

GREGORY NG, Grandin T. 2007. Animal Welfare and Meat Science. CAB International.

GREGORY NG. 2010. How to Farm for Meat Quality: A Comprehensive Guide. CAB International.

HEMSWORTH PH, Coleman GJ, Barnett JL. 2015. Human-Livestock Interactions: The Stockperson and the Productivity and Welfare of Intensively Farmed Animals. CAB International.

HEMSWORTH PH, Coleman GJ. 2011. Human-Livestock Interactions: The Stockperson and the Productivity and Welfare of Intensively Farmed Animals. CAB International.

HODGKINSON SM, Morris ST, Wilson PR. 2008. The effects of natural light on cattle behaviour in barn systems. *Applied Animal Behaviour Science*. 110(1-2):25-33.

KADZERE CT, Murphy MR, Silanikove N, Maltz E. 2002. Heat stress in lactating dairy cows: A review. *Livestock Production Science*. 77(1):59-91.

LAWRIE RA, Ledward DA. 2006. Lawrie's Meat Science. Woodhead Publishing.

LIMA AM. 2008. La comunicación en el manejo de animales. *Comportamiento Animal*. 76(4):835-846.

LOFGREN I, Mills DS, Pfaff M. 2021. Entrenamiento positivo en el manejo de animales de granja. *Revista de Ciencias Aplicadas del Bienestar Animal*. 24(3):217-226.

MADER TL, Davis MS, Brown-Brandl TM. 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*. 84(3):712-719.

MANCINI RA, Hunt MC. 2005. Current research in meat color. *Meat Science*. 71(1):100-121.

MITLÖHNER FM, Morrow JL, Dailey JW, Wilson SC, Galyean ML, McGlone JJ. 2001. Shade and water misting effects on behavior, physiology, performance, and carcass traits of heat-stressed feedlot cattle. *Journal of Animal Science*. 79(1):2327-2335.

MOBERG GP. 2000. Respuesta biológica al estrés: implicaciones para el bienestar animal. Bienestar Animal. Pp. 9-39. CABI Publishing.

OIE (2019). Terrestrial Animal Health Code: Animal Welfare. Organización Mundial de Sanidad Animal.

OLYNK NJ, Tonsor GT, Wolf CA. 2010. Consumer willingness to pay for livestock credence attribute claim verification. *Journal of Agricultural and Resource Economics*. 35(2):261-280.

PATTERSON A. 2019. Diseño acústico en instalaciones para ganado. *Revista de Investigación en Ingeniería Agrícola.* 134:5-12.

PETHERICK J C, Phillips CJC. 2009. Animal Welfare in Extensive Systems. Springer.

PEW Research Center. 2021. Uso de las redes sociales en 2021. Pew Research Center.

PHILLIPS CJC, Lomas CA. 2001. The perception of cattle regarding light and dark. *Animal Science*. 72(1):1-12.

RUSHEN J, de Passillé AM, von Keyserlingk MAG, Weary DM. 2011. The Welfare of Cattle. Springer.

SMITH G, Grandin T. 2004. Animal handling and stress reduction techniques for livestock. *Veterinary Journal*. 168(3):202-215.

TERLOUW EM, Arnould C, Auperin B, Berri C, Le Bihan-Duval E, Deiss V, Mounier L. 2005. The relationship between pre-slaughter stress and meat quality in pigs and cattle. *Meat Science*. 69(3):529-537.

THOMPSON PN, Stone A, Schultheiss WA. 2006. Use of treatment records and lung lesions at slaughter for epidemiological investigations of respiratory disease in South African feedlot cattle. *Preventive Veterinary Medicine*. 73(2-3):137-151.

VRANKEN H, Verbeke W. 2018. Impact of global trends on the meat industry: Global consumer demands, sustainability, and transparency. *Agricultural Systems*. 168:44-53.

VON Borell E. 2001. The biology of stress and its application to livestock housing and transportation assessment. *Journal of Animal Science*. 79(E-suppl):260-267.

VON Keyserlingk MAG, Weary DM. 2017. Feeding behavior and animal welfare: state of the science and future directions. *Animal Production Science*. 57(7):1471-1479.

WARRISS PD. 2000. Meat Science: An Introductory Text. CAB International.

WELFARE Quality®. 2009. Welfare Quality® assessment protocol for cattle. Lelystad, The Netherlands: Welfare Quality® Consortium.

WEST JW. 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science.* 86(6):2131-2144.