

## Calidad nutritiva y densidad microbiana de nopal duraznillo (*Opuntia leucotricha*) fermentado en estado sólido

Nutritional quality and microbial density of nopal duraznillo (*Opuntia leucotricha*) fermented in solid state

Heriberto de Jesús Maldonado-Quiñones<sup>1</sup>, Jesús Manuel Barraza-Govea<sup>2</sup>, Francisco Oscar Carrete-Carreón<sup>3</sup>, Manuel Murillo Ortiz<sup>3</sup>, Carlos Urban Häubi-Segura<sup>4</sup>, Arnoldo Flores-Hernández<sup>5</sup>, Gerardo Antonio Pámanes-Carrasco<sup>6</sup>, Elia Esther Araiza-Rosales<sup>7\*</sup>

<sup>1</sup> Programa Institucional de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango.

<sup>2</sup> Universidad Tecnológica de Rodeo.

<sup>3</sup> Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango.

<sup>4</sup> Centro de Ciencias Agropecuarias, La Posta, Universidad Autónoma de Aguascalientes.

<sup>5</sup> Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo.

<sup>6</sup> Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera, Universidad Juárez del Estado de Durango.

<sup>7</sup> Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango.

Tel. (618)8271235. e\_araiza2002@hotmail.com

\*Autor de correspondencia

### Resumen

El nopal duraznillo (*Opuntia leucotricha*) es utilizado para complementar la alimentación del ganado bovino en pastoreo. El objetivo de esta investigación fue evaluar el valor nutricional del nopal duraznillo fermentado aeróbicamente. Se evaluó el efecto de aditivo (A), chamuscado (CH) y tiempo de fermentación (TF) sobre la densidad celular microbiana total (DCMT) y la calidad nutritiva del nopal fermentado en estado sólido. La mayor DCMT (660.0 millones de células ml<sup>-1</sup>) se observó en el tratamiento 16 (con A, sin CH y con 24 h de TF). La proteína cruda descendió a partir de las 24 h de TF. Con base en la composición química (PC = 22.7%, FDA = 18.3%, LDA = 3.3%), se considera que el nopal sometido al tratamiento 16 presenta buena calidad nutricional para el ganado. Con respecto a la digestibilidad *in vitro*, el mayor valor observado (93.8%) se obtuvo con el tratamiento 13 (con A, sin CH y con 0 h de TF).

**Palabras clave:** Nopal silvestre; proteína; forraje; levaduras; rumiantes.

### Abstract

Nopal duraznillo (*Opuntia leucotricha*) is used to supplement the feeding of grazing cattle. The objective of this research was to evaluate the nutritional value of aerobically fermented nopal duraznillo. The effect of additive (A), singed (S), and fermentation time (FT) on total microbial cell density (TMCD) and nutritional quality of solid-state fermented nopal was evaluated. The highest TMCD (660.0 million cells ml<sup>-1</sup>) was observed in treatment 16 (with A, without S, and with 24 h of FT). Crude protein decreased after 24 h of FT. Based on the chemical composition (CP = 22.7%, ADF = 18.3%, ADL = 3.3%), it is considered that the nopal subjected to treatment 16 presents good nutritional quality for cattle. Regarding *in vitro* digestibility, the highest value observed (93.8%) was obtained with treatment 13 (with A, without S, and 0 h of FT).

**Keywords:** Wild cacti; protein; forage; yeasts; ruminants.

Recibido: 29 de abril de 2022

Aceptado: 12 de septiembre de 2022

Publicado: 23 de noviembre de 2022

**Cómo citar:** Maldonado-Quiñones, H. J., Barraza-Govea, J. M., Carrete-Carreón, F. O., Murillo Ortiz, M., Häubi-Segura, C. U., Flores-Hernández, A., Pámanes-Carrasco, G. A., & Araiza-Rosales, E. E. (2022). Calidad nutritiva y densidad microbiana de nopal duraznillo (*Opuntia leucotricha*) fermentado en estado sólido. *Acta Universitaria* 32, e3559. doi: <http://doi.org/10.15174/au.2022.3559>

## Introducción

La producción de ganado bovino de carne es una actividad económica importante en el norte de México y es de las principales fuentes de ingreso de la población rural de las zonas áridas y semiáridas. Estas zonas se caracterizan por tener un periodo de lluvias reducido (julio a octubre), lo que propicia escasez de forraje en algunas épocas del año. En consecuencia, la alimentación del ganado bovino en pastoreo está en función de la disponibilidad anual de forraje (de Villalobos, 2013; Dubeux *et al.*, 2018). Así mismo, el sobrepastoreo ha favorecido la invasión de especies vegetales de rápido crecimiento, entre ellas algunas del género *Opuntia*. Las poblaciones de estas especies aumentan gracias a su propagación vegetativa, ya que se ven favorecidas también por la disminución de la competencia de plantas que son preferidas por el ganado (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [Conabio]-Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], 2017; González, 2012). Afortunadamente, estas plantas constituyen una fuente de forraje, las cuales pueden utilizarse para complementar la alimentación del ganado bovino en pastoreo.

Entre las especies de *Opuntia* que consume el ganado bovino en pastoreo destaca el nopal duraznillo debido a que es nativa de los pastizales del norte del país y a que predomina respecto a otras especies de este género (López García *et al.*, 2001). Una característica de los cladodios (pencas) de este nopal son las espinas bien desarrolladas (1 cm a 2 cm). Debido a esto, los ganaderos suelen quemarlas con dispositivos especiales llamados "chamuscadoras" (Figura 1) para facilitar que el ganado pueda consumir este material forrajero.



Figura 1. Chamuscado de las espinas de nopal duraznillo (*Opuntia leucotricha*).  
Fuente: Elaboración propia.

Debido a los altos precios de los suplementos proteicos, como pasta de soya, harinolina y grano seco de destilería, se han buscado alternativas para sustituir estos ingredientes. En ese sentido, se han realizado algunos trabajos de investigación sobre la fermentación en estado sólido (FES) del nopal cultivado (*Opuntia ficus-indica*), con el fin de incrementar el contenido de proteína cruda del forraje mediante el crecimiento de ciertos microorganismos (principalmente levaduras) y con la adición de nutrientes como urea y sulfato de amonio. De esta manera, el incremento de la proteína cruda se asocia a la producción de proteína microbiana y a la adición de las fuentes de nitrógeno (Díaz Plascencia et al., 2012; Gad et al., 2010).

Algunos investigadores (Flores Hernández et al., 2019; Herrera Torres et al., 2014; Meza Herrera et al., 2019) han llevado a cabo la FES con algunos cultivos de levaduras para incrementar el contenido de proteína cruda de nopal cultivado, el cual ha sido mejorado genéticamente para que no tenga espinas. Sin embargo, no existen trabajos que evalúen la calidad nutritiva y el desarrollo microbiano en especies de nopal silvestre, las cuales se caracterizan por tener abundantes espinas y requieren de ser eliminadas antes de ofrecer este forraje al ganado. Además, las investigaciones realizadas con nopal cultivado son diversas, ya que van desde las realizadas en condiciones in vitro (en un sistema cerrado, fermentación anaeróbica), o bien, con el uso de equipos especiales para realizar la fermentación aeróbica, que son difíciles de adquirir por los pequeños y medianos ganaderos. Trabajos realizados previamente han tenido un periodo de fermentación reducido (máximo 24 h), por lo que se desconoce el efecto que pudiera tener una fermentación más prolongada sobre el crecimiento microbiano y la calidad nutritiva del nopal.

En consideración a lo anterior, se llevó a cabo la presente investigación con el objetivo de evaluar la calidad nutritiva y la densidad microbiana del nopal duraznillo fermentado en condiciones aeróbicas.

## Materiales y métodos

### Obtención de *Opuntia*

El nopal duraznillo se obtuvo de un predio particular ubicado en el sur del estado de Durango, México. Las coordenadas del punto de muestreo son 24° 05' 54.56" N y 104° 10' 33.06" O. La altitud del sitio es de 1850 m. El clima es seco templado con verano cálido (BS<sub>1</sub>k), con temperatura media anual de 17 °C, precipitación promedio anual de 450 mm y régimen de lluvias en verano (García, 2004). El tipo de vegetación corresponde a un pastizal mediano arbosufrutescente (Comisión Técnico Consultiva para la Determinación Regional de los Coeficientes de Agostadero [Cotecoca], 1979). Los cladodios recolectados (cortados con machete) fueron aquéllos que no estaban demasiado tiernos, ni muy maduros; de tal manera que se evitó cortar cladodios con una edad menor a un año y aquéllos mayores de dos años.

### Tratamientos experimentales

Para conocer el efecto del tiempo de fermentación del nopal duraznillo, del chamuscado de las espinas y del aditivo, se definió el siguiente arreglo de tratamientos:

FACTOR A: chamuscado (CH) (con y sin)

FACTOR B: aditivo (A) (con y sin)

FACTOR C: tiempo de fermentación (TF) (0 h, 6 h, 12 h, 24 h, 48 h y 96 h)

De esta manera se formaron 24 tratamientos, combinando tres factores y sus niveles (2x2x6) (Tabla 1). Así mismo, se consideraron cinco repeticiones por tratamiento, resultando un total de 120 unidades experimentales.

Tabla 1. Arreglo de tratamientos experimentales.

Tratamiento	A	Factor CH	TF
1	Sin	Sin	0
2	Sin	Sin	6
3	Sin	Sin	12
4	Sin	Sin	24
5	Sin	Sin	48
6	Sin	Sin	96
7	Sin	Con	0
8	Sin	Con	6
9	Sin	Con	12
10	Sin	Con	24
11	Sin	Con	48
12	Sin	Con	96
13	Con	Sin	0
14	Con	Sin	6
15	Con	Sin	12
16	Con	Sin	24
17	Con	Sin	48
18	Con	Sin	96
19	Con	Con	0
20	Con	Con	6
21	Con	Con	12
22	Con	Con	24
23	Con	Con	48
24	Con	Con	96

Fuente: Elaboración propia.

El factor A (aditivo) constó de una mezcla de levadura seca de panificación (*Saccharomyces cerevisiae*; Nevada®, 10 g kg<sup>-1</sup>, en base húmeda), urea (uso agrícola; 10 g kg<sup>-1</sup>, en base húmeda) y sulfato de amonio (grado fertilizante agrícola; 1 g kg<sup>-1</sup>, en base húmeda).

El factor B consistió en la eliminación de espinas por calor (chamuscado), y se llevó a cabo de la misma forma en que lo realizan normalmente los ganaderos. Para esto, los cladodios de nopal se depositaron en el suelo y enseguida se aplicó fuego directo a cada cara del cladodio con un lanzallamas (chamuscadora) por espacio de 5 s a 7 s (Figura 1).

El factor C (tiempo de fermentación) corresponde al tiempo de permanencia del nopal duraznillo en el interior del contenedor metálico.

Se evaluó el efecto de estos factores sobre algunas variables de la calidad nutritiva y la densidad microbiana del nopal duraznillo fermentado.

El modelo estadístico para este arreglo de tratamientos es el siguiente:

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

donde  $y_{ijkl}$  = Variable de respuesta;  $\mu$  = Efecto de la media general;  $\alpha_i$  = Efecto del aditivo;  $\beta_j$  = Efecto del chamuscado;  $\gamma_k$  = Efecto del tiempo de fermentación;  $(\alpha\beta)_{ij}$  = Efecto de la interacción entre aditivo y chamuscado;  $(\alpha\gamma)_{ik}$  = Efecto de la interacción entre chamuscado y tiempo de fermentación;  $(\beta\gamma)_{jk}$  = Efecto de la interacción entre aditivo y tiempo de fermentación;  $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$  = Efecto de la interacción entre aditivo, chamuscado y tiempo de fermentación; y  $\varepsilon_{ijkl}$  = Error experimental.

## Fermentación en estado sólido

La FES se realizó durante marzo y abril de 2020 en el Laboratorio de Tecnología del Agua de la Universidad Tecnológica de Rodeo, ubicada en Rodeo, Dgo., México. Previo a la fermentación, la mitad de los cladodios fueron chamuscados a fin de eliminarles las espinas, y el resto se dejó sin chamuscar para luego someterlos al proceso de FES. Posteriormente, los cladodios se cortaron con una máquina picadora de forraje a un tamaño de partícula entre 5 cm y 7 cm. Una vez picados, fueron sometidos al proceso de FES, el cual se llevó a cabo en un contenedor metálico con agitación mecánica.

## Densidad microbiana

La preparación de los medios de cultivo y medidas de asepsia se apegaron a las especificaciones de la Norma Oficial Mexicana NOM-065-SSA1-1993 (Diario Oficial de la Federación [DOF], 1994). El recuento microbiano se llevó a cabo de acuerdo con la metodología descrita por Díaz-Plascencia *et al.* (2012). Se tomaron cinco muestras (1 kg aproximadamente) de nopal del interior del contenedor metálico de cada tiempo de fermentación. Cada muestra se depositó en una bolsa de polietileno con cierre hermético (Ziploc), identificada previamente. De cada bolsa se tomó una submuestra de 5 g, y se conservó en un vaso de precipitados de 100 ml, previamente esterilizado en autoclave; enseguida, a cada vaso se le agregó 50 ml de agua destilada y se agitó manualmente, filtrando posteriormente el contenido a través de cuatro capas de gasa quirúrgica esterilizada. La densidad celular microbiana total (DCMT) de cada una de las suspensiones obtenidas se determinó mediante el uso de una cámara de Neubauer (Neubauer improved, BLAUBRAND®).

La DCMT se calculó a partir de la siguiente expresión:

$$DCMT = \frac{CC * FD}{SC * PR}$$

donde DCMT = densidad celular microbiana total, expresada en células  $\mu\text{L}^{-1}$ ; CC = número de células contadas en la cámara de Neubauer; FD = factor de dilución utilizado (1/10, 1/20, 1/30, etc.); SC = superficie de conteo de la cámara de Neubauer, expresada en  $\text{mm}^2$ ; y PR = profundidad de la cámara de Neubauer expresada en mm.

Posteriormente, se realizaron los cálculos necesarios para expresar la DCMT en millones de células  $\text{ml}^{-1}$ .

## Calidad nutritiva

Los análisis correspondientes a la calidad nutritiva se llevaron a cabo de mayo a agosto de 2020 en el laboratorio de nutrición de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango, ubicada en carretera Durango-El Mezquital km 11.5.

El nopal fermentado contenido en las bolsas se pasó a charolas de aluminio para secarlas en una estufa de aire forzado (Felisa, FE-294AD) a 55 °C durante 48 h. Una vez secas, las muestras se trituraron en un molino de cuchillas (Thomas Wiley Miller Lab) provisto con malla de 1 mm. Ya molidas, las muestras se conservaron en bolsas de polietileno con cierre hermético (Ziploc) para su posterior uso. El análisis químico de las muestras se realizó de acuerdo con los métodos descritos por la Association of Official Analytical Chemistry (AOAC, 2005). Se determinó el contenido de materia seca (MS), por desecación (AOAC 925.45); cenizas (CEN), por el método de incineración en seco (AOAC 938.08); y proteína cruda (PC), por el método Kjeldahl (AOAC 991.20). Los componentes de la pared celular, fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y lignina detergente ácido (LDA) fueron determinados de acuerdo con la metodología de Van Soest *et al.* (1991). La digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) a tiempo fijo se estimó mediante la incubación de las muestras en un equipo Daisy<sup>II</sup> Incubator (ANKOM Technology, 2020) durante 48 h a 39 °C ± 0.5 °C, con líquido ruminal obtenido de un bovino macho raza "Brangus", fistulado del rumen, de cinco años de edad y con un peso aproximado de 750 kg. La alimentación del novillo consistió en una dieta balanceada para cumplir con requerimientos de mantenimiento (National Research Council [NRC], 2000), elaborada a base de heno de alfalfa, ensilado de maíz, harinolina y maíz molido. El procedimiento de implantación de la cánula ruminal del animal utilizado como donante de líquido ruminal fue aprobado, en su momento, por el Comité de Fomento y Protección Pecuaria del Estado de Durango.

Finalmente, con el propósito de cuantificar los costos del CH y consumo de energía eléctrica durante 24 h, así como los del A, CH y consumo de energía eléctrica durante ese mismo periodo de tiempo, se determinó el costo de producción de un lote de nopal (70 kg) correspondiente al tratamiento 10 (sin A, con CH y TF = 24 h), además de un lote correspondiente al tratamiento 22 (con A, con CH y TF = 24 h).

## Análisis estadístico

El diseño experimental empleado fue completamente al azar, con arreglo factorial (2x2x6). Se utilizó el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS versión 9.1 (Statistical Analysis System [SAS], 2003) para el análisis de varianza. La comparación de medias se realizó con la prueba Student-Newman-Keuls (SNK).

## Resultados

### Densidad microbiana

En la Tabla 2 se muestra que los efectos principales de los factores A, CH y TF presentaron diferencias estadísticas ( $p < 0.01$ ) para la DCMT. Los valores mayores de esta variable se obtuvieron en nopal con A (363.7 millones de células  $\text{ml}^{-1}$ ), nopal sin CH (250.9 millones de células  $\text{ml}^{-1}$ ) y a un TF de 24 h (333.7 millones de células  $\text{ml}^{-1}$ ). La DCMT del nopal sin A resultó cuatro veces menor que la del nopal con A, mientras que la del nopal sin CH superó en 35% a la del nopal con CH. La DCMT de los tiempos de fermentación 24 h, 48 h y 96 h no presentó diferencias estadísticas entre sí, sin embargo, superó en 500%, 200% y 60% a los TF de 0 h, 6 h y 12 h, respectivamente.

Tabla 2. Densidad celular microbiana total del nopal duraznillo (*Opuntia leucotricha*) de acuerdo al efecto de aditivo, chamuscado y tiempo de fermentación.

Efectos principales	Variable
	Densidad celular microbiana total (millones de células ml <sup>-1</sup> )
<b>A</b>	
Sin	74.5 <sup>b</sup>
Con	363.7 <sup>a</sup>
Valor de p	<0.01
<b>CH</b>	
Sin	250.9 <sup>a</sup>
Con	185.4 <sup>b</sup>
Valor de p	<0.01
<b>TF</b>	
0	50.1 <sup>c</sup>
6	95.9 <sup>c</sup>
12	202.9 <sup>b</sup>
24	333.7 <sup>a</sup>
48	310.2 <sup>a</sup>
96	314.0 <sup>a</sup>
Valor de p	<0.01
<b>EEM</b>	72.91

<sup>abc</sup> Valores con diferente literal en la misma columna, dentro de cada factor, son significativamente diferentes (SNK,  $p < 0.05$ ). EEM = error estándar de la media.

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la triple interacción (Tabla 3), se observaron diferencias estadísticas ( $p < 0.01$ ) para la DCMT. La más alta densidad se observó con la interacción con A, sin CH y TF = 24 h, presentando un valor de 660 millones de células ml<sup>-1</sup>. Por su parte, la menor densidad se obtuvo con la interacción nopal sin A, con CH y 0 h de TF, con un valor de 4.5 millones de células ml<sup>-1</sup>.

Tabla 3. Densidad celular microbiana total de nopal duraznillo (*Opuntia leucotricha*) de acuerdo a la interacción entre aditivo, chamuscado y tiempo de fermentación.

A	Factor		Variable	
	CH	TF	Densidad celular microbiana total (millones de células ml <sup>-1</sup> )	
Sin	Sin	0	29.5 <sup>ef</sup>	
Sin	Sin	6	46.5 <sup>ef</sup>	
Sin	Sin	12	77.0 <sup>def</sup>	
Sin	Sin	24	103.4 <sup>cdef</sup>	
Sin	Sin	48	122.8 <sup>cdef</sup>	
Sin	Sin	96	177.2 <sup>cde</sup>	
Sin	Con	0	4.5 <sup>f</sup>	
Sin	Con	6	12.3 <sup>f</sup>	
Sin	Con	12	16.1 <sup>f</sup>	
Sin	Con	24	74.6 <sup>cdef</sup>	
Sin	Con	48	103.6 <sup>cdef</sup>	
Sin	Con	96	126.6 <sup>cdef</sup>	
Con	Sin	0	108.2 <sup>cdef</sup>	
Con	Sin	6	200.8 <sup>cd</sup>	
Con	Sin	12	567.8 <sup>b</sup>	
Con	Sin	24	660.0 <sup>a</sup>	
Con	Sin	48	532.4 <sup>b</sup>	
Con	Sin	96	448.8 <sup>b</sup>	
Con	Con	0	58.0 <sup>def</sup>	
Con	Con	6	124.2 <sup>cdef</sup>	
Con	Con	12	223.6 <sup>c</sup>	
Con	Con	24	496.6 <sup>b</sup>	
Con	Con	48	481.8 <sup>b</sup>	
Con	Con	96	503.4 <sup>b</sup>	
Valor de p			<0.01	
EEM			72.91	

abcdefi Valores con al menos una letra igual en la misma columna no son significativamente diferentes (SNK,  $p < 0.05$ ). EEM = Error estándar de la media.

Fuente: Elaboración propia.

## Calidad nutritiva

Los efectos principales de los factores A, CH y TF presentaron diferencias estadísticas ( $p < 0.01$ , Tabla 4) para los porcentajes de MS, PC, FDN y FDA. Los porcentajes de MS obtenidos oscilan entre el 9.5% y el 11.1%, y son mayores en nopal con A (10.8%) y con CH (11.1%), respecto al que no contiene A (9.8%) y sin chamuscar (9.5%). También se observa un aumento de esta variable conforme transcurre el TF. El valor menor de PC obtenido (4.6%) corresponde al promedio del nopal sin A (como se encuentra en estado natural), mientras que el valor mayor (22.2%) es el promedio del nopal al cual se le agregó el A. Los valores menores de FDN se obtuvieron en nopal sin A (39.7%), sin CH (39.7%) y a los tiempos de fermentación 12 h (41.8%), 24 h (40.7%), 48 h (40.6%) y 96 h (39.7%), los cuales no presentaron diferencia estadística entre sí ( $p > 0.05$ ) (Tabla 4). El porcentaje de FDA obtenido en nopal sin A, nopal sin CH y a las 0 h de TF resultó con el mismo valor (17.0%) y fue menor en dos unidades porcentuales al obtenido en nopal con A (19.2%) y con CH (19.2%). Así mismo, tendió a aumentar con el transcurso del TF (17.0% a 19.4%).

El factor A no presentó diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) (Tabla 4) para las variables CEN y LDA. Respecto al factor CH, no hubo diferencias estadísticas ( $p > 0.05$ ) (Tabla 4) para la DIVMS, mientras que el TF no presentó diferencias estadísticas ( $p > 0.05$ ) (Tabla 4) para la LDA. Los porcentajes de CEN obtenidos oscilan entre el 22.3% y el 25.8%, y la menor LDA se obtuvo en nopal sin CH (3.4%). Por su parte, la DIVMS de nopal con A resultó cinco unidades porcentuales mayor que sin A y descendió con el transcurso del TF (87.5% a 81.6%).



Tabla 4. Calidad nutritiva del nopal duraznillo (*Opuntia leucotricha*) de acuerdo al efecto de aditivo, chamuscado y tiempo de fermentación.

Efecto principal	Variable						
	MS (%)	PC (%)	CEN (%)	FDN (%)	FDA (%)	LDA (%)	DIVMS (%)
<b>A</b>							
Sin	9.8 <sup>b</sup>	4.6 <sup>b</sup>	23.7 <sup>a</sup>	39.7 <sup>b</sup>	17.0 <sup>b</sup>	3.9 <sup>a</sup>	82.2 <sup>b</sup>
Con	10.8 <sup>a</sup>	22.2 <sup>a</sup>	23.5 <sup>a</sup>	44.7 <sup>a</sup>	19.2 <sup>a</sup>	3.9 <sup>a</sup>	87.4 <sup>a</sup>
Valor de p	<0.01	<0.01	>0.05	<0.01	<0.01	>0.05	<0.01
<b>CH</b>							
Sin	9.5 <sup>b</sup>	13.9 <sup>a</sup>	23.9 <sup>a</sup>	39.7 <sup>b</sup>	17.0 <sup>b</sup>	3.4 <sup>b</sup>	84.4 <sup>a</sup>
Con	11.1 <sup>a</sup>	12.9 <sup>b</sup>	23.3 <sup>b</sup>	44.7 <sup>a</sup>	19.2 <sup>a</sup>	4.4 <sup>a</sup>	85.2 <sup>a</sup>
Valor de p	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	>0.05
<b>TF</b>							
0	10.2 <sup>b</sup>	14.8 <sup>a</sup>	22.3 <sup>e</sup>	45.5 <sup>a</sup>	17.0 <sup>d</sup>	3.8 <sup>a</sup>	87.5 <sup>a</sup>
6	10.0 <sup>b</sup>	14.3 <sup>a</sup>	22.8 <sup>d</sup>	44.9 <sup>a</sup>	17.0 <sup>d</sup>	3.8 <sup>a</sup>	85.4 <sup>ab</sup>
12	10.2 <sup>b</sup>	14.7 <sup>a</sup>	22.7 <sup>d</sup>	41.8 <sup>b</sup>	17.7 <sup>cd</sup>	3.9 <sup>a</sup>	85.8 <sup>a</sup>
24	10.2 <sup>b</sup>	13.6 <sup>b</sup>	23.3 <sup>c</sup>	40.7 <sup>b</sup>	18.3 <sup>bc</sup>	3.9 <sup>a</sup>	84.6 <sup>ab</sup>
48	10.2 <sup>b</sup>	12.3 <sup>c</sup>	24.6 <sup>b</sup>	40.6 <sup>b</sup>	19.0 <sup>ab</sup>	4.0 <sup>a</sup>	84.0 <sup>ab</sup>
96	10.9 <sup>a</sup>	11.1 <sup>d</sup>	25.8 <sup>a</sup>	39.7 <sup>b</sup>	19.4 <sup>a</sup>	4.1 <sup>a</sup>	81.6 <sup>b</sup>
Valor de p	<0.01	<0.01	<0.05	<0.01	<0.01	>0.05	<0.01
<b>EEM</b>	0.21	1.01	0.43	3.76	1.28	0.50	4.15

<sup>abcde</sup> Valores con diferente literal en la misma columna, dentro de cada factor, son significativamente diferentes (SNK,  $p < 0.05$ ). EEM = error estándar de la media; MS = materia seca; CEN = cenizas; PC = proteína cruda; FDN = fibra detergente neutro; FDA = fibra detergente ácido; LDA = lignina detergente ácido; DIVMS = digestibilidad *in vitro* de la materia seca.

Fuente: Elaboración propia.

La calidad nutritiva se vio afectada ( $p < 0.01$ ) por el efecto combinado de los factores evaluados (interacción entre A, CH y TF), tal fue el caso de la PC, FDA, LDA y DIVMS; no así para la FDN ( $p > 0.05$ ) (Tabla 5). El porcentaje mayor de PC (27.0%) obtenido con la interacción con A, sin CH y TF = 0 h resultó casi seis veces superior a la correspondiente a nopal sin A, sin CH y TF = 0 h (4.9%). Respecto a los componentes de la pared celular, los menores porcentajes de FDA (14.1%) y LDA (3.0%) se obtuvieron con la siguiente interacción: sin A, sin CH y 24 h de TF; mientras que la mayor digestibilidad (93.8%) se presentó con la interacción con A, sin CH y TF = 0 h. Por el contrario, la menor digestibilidad (72.6%) se obtuvo con la interacción sin A, con CH y 96 h de TF.

Tabla 5. Principales variables de calidad nutritiva del nopal duraznillo (*Opuntia leucotricha*) de acuerdo a la interacción entre aditivo, chamuscado y tiempo de fermentación.

A	Factor		Variable				
	CH	TF	PC (%)	FDN (%)	FDA (%)	LDA (%)	DIVMS (%)
Sin	Sin	0	4.9 <sup>f</sup>	41.5 <sup>a</sup>	15.5 <sup>hi</sup>	3.6 <sup>bcde</sup>	85.6 <sup>abcd</sup>
Sin	Sin	6	5.0 <sup>f</sup>	40.7 <sup>a</sup>	15.7 <sup>ghi</sup>	3.6 <sup>bcde</sup>	83.2 <sup>bcd</sup>
Sin	Sin	12	4.9 <sup>f</sup>	38.2 <sup>a</sup>	14.9 <sup>hi</sup>	3.1 <sup>de</sup>	82.0 <sup>bcd</sup>
Sin	Sin	24	4.7 <sup>f</sup>	34.2 <sup>a</sup>	14.1 <sup>i</sup>	3.0 <sup>e</sup>	85.7 <sup>abcd</sup>
Sin	Sin	48	5.2 <sup>f</sup>	41.3 <sup>a</sup>	15.9 <sup>ghi</sup>	3.6 <sup>bcde</sup>	89.8 <sup>abc</sup>
Sin	Sin	96	4.8 <sup>f</sup>	35.5 <sup>a</sup>	15.2 <sup>hi</sup>	3.7 <sup>bcde</sup>	83.0 <sup>bcd</sup>
Sin	Con	0	4.5 <sup>f</sup>	41.3 <sup>a</sup>	17.1 <sup>efgh</sup>	3.8 <sup>bcde</sup>	81.3 <sup>bcde</sup>
Sin	Con	6	4.4 <sup>f</sup>	41.3 <sup>a</sup>	17.0 <sup>efgh</sup>	3.7 <sup>bcde</sup>	80.1 <sup>bcde</sup>
Sin	Con	12	4.3 <sup>f</sup>	37.4 <sup>a</sup>	21.1 <sup>b</sup>	5.0 <sup>a</sup>	80.2 <sup>bcde</sup>
Sin	Con	24	4.2 <sup>f</sup>	41.0 <sup>a</sup>	20.1 <sup>bcd</sup>	5.0 <sup>a</sup>	83.0 <sup>bcd</sup>
Sin	Con	48	4.5 <sup>f</sup>	45.6 <sup>a</sup>	18.9 <sup>bcde</sup>	4.8 <sup>a</sup>	79.9 <sup>cde</sup>
Sin	Con	96	4.2 <sup>f</sup>	43.8 <sup>a</sup>	18.1 <sup>defg</sup>	4.5 <sup>ab</sup>	72.6 <sup>e</sup>
Con	Sin	0	27.0 <sup>a</sup>	47.9 <sup>a</sup>	16.4 <sup>efghi</sup>	3.6 <sup>bcde</sup>	93.8 <sup>a</sup>
Con	Sin	6	25.9 <sup>ab</sup>	49.2 <sup>a</sup>	16.7 <sup>efghi</sup>	3.6 <sup>bcde</sup>	90.8 <sup>ab</sup>
Con	Sin	12	24.9 <sup>b</sup>	44.3 <sup>a</sup>	16.5 <sup>efghi</sup>	3.8 <sup>bcde</sup>	90.8 <sup>ab</sup>
Con	Sin	24	22.7 <sup>c</sup>	38.6 <sup>a</sup>	18.3 <sup>cdef</sup>	3.3 <sup>cde</sup>	81.1 <sup>bcde</sup>
Con	Sin	48	19.7 <sup>d</sup>	34.3 <sup>a</sup>	21.2 <sup>b</sup>	3.0 <sup>e</sup>	76.5 <sup>de</sup>
Con	Sin	96	17.1 <sup>e</sup>	36.1 <sup>a</sup>	23.3 <sup>a</sup>	3.3 <sup>cde</sup>	80.4 <sup>bcde</sup>
Con	Con	0	22.7 <sup>c</sup>	51.4 <sup>a</sup>	18.8 <sup>bcde</sup>	4.1 <sup>abcd</sup>	89.4 <sup>abc</sup>
Con	Con	6	21.8 <sup>c</sup>	48.2 <sup>a</sup>	18.9 <sup>bcde</sup>	4.3 <sup>abc</sup>	87.5 <sup>abc</sup>
Con	Con	12	24.5 <sup>b</sup>	47.6 <sup>a</sup>	18.4 <sup>cdef</sup>	4.1 <sup>abcde</sup>	90.4 <sup>abc</sup>
Con	Con	24	22.7 <sup>c</sup>	49.1 <sup>a</sup>	20.8 <sup>bc</sup>	4.4 <sup>abc</sup>	88.4 <sup>abc</sup>
Con	Con	48	19.7 <sup>d</sup>	46.4 <sup>a</sup>	20.3 <sup>bcd</sup>	4.6 <sup>ab</sup>	90.0 <sup>abc</sup>
Con	Con	96	18.3 <sup>de</sup>	43.5 <sup>a</sup>	20.8 <sup>bc</sup>	4.9 <sup>a</sup>	90.3 <sup>abc</sup>
<b>Valor de p</b>			<0.01	>0.05	<0.01	<0.01	<0.01
<b>EEM</b>			1.01	3.76	1.28	0.50	4.15

abcdeghi Valores con al menos una letra igual en la misma columna no son significativamente diferentes (SNK,  $p < 0.05$ ). PC = proteína cruda; FDN = fibra detergente neutro; FDA = fibra detergente ácido; LDA = lignina detergente ácido DIVMS = digestibilidad *in vitro* de la materia seca; EEM = Error estándar de la media.

Fuente: Elaboración propia.

Los costos de producción del nopal duraznillo fermentado se definen de la siguiente manera: para procesar 70 kg de cladodios de nopal del tratamiento 22, se necesitan \$145.00 pesos, mientras que el costo de procesar la misma cantidad de cladodios correspondiente al tratamiento 10 fue de \$45.60 pesos. De acuerdo a lo anterior, y tomando en cuenta su porcentaje de MS, el costo del kilogramo de MS del primero fue de \$19.22 pesos y el del segundo fue de \$5.88 pesos, lo que representa una diferencia de \$13.34 pesos.

## Discusión

### Densidad microbiana

La menor DCMT observada en el nopal con CH pudiera estar relacionada con la pérdida de microorganismos epifíticos de esta planta, como resultado de la combustión originada por el calor de la llama. Con respecto al A, la mayor DCMT que se obtuvo con el uso de este se asocia al desarrollo de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, mientras que la DCMT registrada a las 24 h de fermentación indica que en este tiempo es cuando se alcanza el pico de crecimiento de los microorganismos y marca el inicio de la fase estacionaria (Zumbado-Rivera *et al.*, 2006).

La tendencia de la DCMT de aumentar para luego estabilizarse se puede deber a que, al tenerse un sistema aeróbico por lote (Batch), el crecimiento microbiano se ve influenciado principalmente por la tasa de transferencia de oxígeno, que es afectada por la agitación y la aireación (Boze *et al.*, 1992), así como por el agotamiento de otros nutrientes esenciales, trayendo consigo un cambio en la dinámica de crecimiento (Vrabi *et al.*, 2019).

Así pues, el nopal duraznillo fermentado y con aditivo, al ser una fuente de levadura *Saccharomyces cerevisiae* para el ganado en pastoreo, podría favorecer el aumento del consumo de forraje y de la relación acetato:propionato en el rumen, como resultado de una mayor actividad fibrolítica promovida por las levaduras. Además, es probable que la levadura actúe como factor preventivo contra la hiperqueratinización de las papilas del rumen, lo que parece tener relación con la estabilización del pH diurno, mediante la disminución del tiempo en que el pH está por debajo del umbral de acidosis ruminal (Magrin *et al.*, 2018).

## Calidad nutritiva

Los mayores valores de MS registrados en nopal con CH y nopal con A se pudieran relacionar, de manera respectiva, a la pérdida de agua por evaporación como resultado de la aplicación de calor a los cladodios de nopal y a la adición de levadura y nitrógeno (fuente de materia seca). Además, probablemente se haya perdido agua y dióxido de carbono por volatilización, como producto del metabolismo aeróbico de la levadura (Araújo *et al.*, 2005), lo que resultó en un mayor porcentaje de MS a las 96 h respecto al resto de los tiempos de fermentación. Los porcentajes de CEN encontrados en esta investigación (22.3%-25.8%) se encuentran dentro del rango de los reportados en especies de nopal silvestre por otros autores, lo que refleja las similitudes que hay entre especies respecto a esta variable (Pinos-Rodríguez *et al.*, 2006; Reveles-Hernández *et al.*, 2010).

El alto porcentaje de PC obtenido en nopal con A (22.24%) es inferior al 32.98% reportado por Flores-Hernández *et al.* (2019) y cercano al 20.5% obtenido por Meza-Herrera *et al.* (2019). En ambos estudios se llevó a cabo la FES de nopal cultivado (*Opuntia ficus-indica*) en un biodigestor construido con acero inoxidable; además, el tiempo durante el cual se llevó a cabo el proceso fue diferente en cada estudio: Flores-Hernández *et al.* (2019) fermentaron el nopal durante 24 h, mientras que Meza-Herrera *et al.* (2019) lo procesaron 10 h.

A este respecto, es sabido que las condiciones particulares (temperatura, contenido de humedad del sustrato, pH, aireación, agitación, etc.) imperantes al interior de los dispositivos utilizados para llevar a cabo la FES pudieran influir en los porcentajes de PC (Nduka, 2007; Pastrana, 1996). Así mismo, las diferencias en estas variables, asociadas a la variación en la actividad de la enzima ureasa, presente tanto en las levaduras como en microorganismos epifíticos del nopal, pudieran ser responsables de las pérdidas en menor o mayor medida de nitrógeno en forma de amoníaco (Calderón *et al.*, 2005; Herrera-Torres *et al.*, 2022). Por otro lado, el nitrógeno no proteico (NNP) añadido al nopal (urea y sulfato de amonio) que no se pierde en forma de amoníaco constituye una fuente de proteína degradable en rumen que, de no sincronizarse con una fuente de carbohidratos de rápida degradación (como granos de cereales y melaza), favorecería el aumento del nitrógeno amoniacal en rumen, el cual en exceso resulta tóxico (Martínez, 2009). Con base en esto, el ciclo de la urea (que tiene lugar en el hígado) es un proceso mediante el cual ocurre la desintoxicación de amoníaco (con la producción de urea) y puede consumir hasta 2 Mcal de energía metabolizable por día, lo que reduce la disponibilidad de energía para el crecimiento y producción (Perry & Cecava, 1995).

El descenso de la FDN y el ascenso simultáneo de la FDA se relacionan con la acción sinérgica de las enzimas microbianas que pudieron degradar algo de la hemicelulosa presente en la pared celular del nopal (Berumen *et al.*, 2015). Es de señalar que los porcentajes obtenidos de estos componentes de la pared celular se pueden considerar adecuados para favorecer el consumo del nopal duraznillo por parte de bovinos en pastoreo (Herrera-Torres *et al.*, 2014). Respecto a la LDA, el mayor porcentaje registrado en nopal con CH se puede asociar a la formación de compuestos derivados de las reacciones de Maillard, los cuales tienen propiedades fisicoquímicas parecidas a la lignina (Krizsan & Randby, 2007). No obstante, este valor se encuentra dentro de los reportados para nopal cultivado y podría no afectar la digestibilidad del nopal, tal como lo indican los porcentajes de DIVMS obtenidos en esta investigación (72.6% a 93.8%) (Tabla 5), los cuales son superiores a los reportados por Del Razo *et al.* (2015) en cladodios de desecho de *Opuntia* spp.; sin embargo, fueron inferiores a los reportados por Herrera-Torres *et al.* (2014), quienes fermentaron cladodios de nopal forrajero en condiciones *in vitro*. Con base a los porcentajes de DIVMS que se obtuvieron, se pudiera esperar un consumo aceptable de este forraje por parte del ganado bovino.

El mayor porcentaje de PC obtenido con la interacción: sin CH, con A y 0 h de TF, se asocia con que el nopal duraznillo, al no ser expuesto al calor para eliminar las espinas, no pierde microorganismos como producto de la combustión. Además, a las 0 h, tanto la levadura *Saccharomyces cerevisiae* como el nitrógeno inorgánico están intactos, puesto que apenas está por iniciar la actividad degradativa de las levaduras y de los microorganismos epifíticos del nopal sobre este sustrato. Es de resaltar que este alto porcentaje de PC se alcanza con el solo hecho de adicionar al nopal la levadura y el nitrógeno inorgánico (urea y sulfato de amonio). Este valor de PC difiere del obtenido por Flores-Hernández *et al.* (2021), quienes reportan un promedio de 36.55% en tan solo ocho horas de fermentación, que es el tiempo total de procesamiento del nopal en ese estudio. Esto se puede relacionar con que el TF es relativamente más corto al fijado en la presente investigación y que el sustrato es removido cada media hora, por lo que, bajo estas condiciones, es posible que se pierda menor cantidad de nitrógeno en forma de amoniaco.

Por otra parte, no se encontraron investigaciones que hayan evaluado el efecto del CH en nopal silvestre. No obstante, existe literatura en la que se ha evaluado el efecto del tiempo de fermentación y la adición de levaduras a nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica*) en condiciones *in vitro*. A este respecto, Berumen *et al.* (2015) encontraron interacción entre la levadura y el tiempo de fermentación para el contenido de PC en el nopal analizado. El mayor contenido de PC (171.4 g kg<sup>-1</sup>, en base seca) lo obtuvieron a las 120 h en presencia de levadura; y el obtenido en ausencia de levadura, para ese mismo tiempo, fue de 42.5 g kg<sup>-1</sup>, en base seca. Los investigadores atribuyen el incremento general en la PC al crecimiento de microorganismos nativos presentes en el nopal sin inóculo, y el mayor contenido registrado al fermentar el nopal con levadura lo relacionan con crecimiento de dicho microorganismo durante la fermentación.

Los menores porcentajes de FDA (14.1%) y LDA (3.0%) obtenidos con la interacción sin CH, sin A y TF = 24 h tienen relación con lo siguiente: (1) Debido a que el nopal no se somete al calor de la llama, no ocurre la reacción entre carbohidratos y proteínas que da lugar a la formación de los compuestos de Millard (lignina artificial); (2) las levaduras poseen pared celular compuesta por glucano (50%-60% del peso seco), cuya composición química es similar a la de la celulosa (Pontón, 2008), y ya que no se agregó aditivo, no hay contribución de la pared celular derivada de las levaduras; y (3) el hecho de que a las 24 h de fermentación se alcanza la mayor DCMT se asocia con la máxima degradación de una fracción de la hemicelulosa presente en la FDN como resultado del metabolismo microbiano, como se señaló anteriormente.

Respecto a la mayor DIVMS obtenida con la interacción con A, sin CH y TF = 0 h, esta se relaciona con un mayor contenido de los componentes solubles y un menor aporte de paredes celulares en esas condiciones, en contraste con la interacción sin A, con CH y TF = 96 h, donde la contribución de los componentes solubles pudiera ser menor y la de las paredes celulares mayor (Ortiz et al., 2017).

El costo de producción del kilogramo de MS del nopal correspondiente al tratamiento 22 es mayor que el del tratamiento 10, debido a que tan solo por concepto de levadura se invierten \$93.00 pesos (64.32% del costo de producción). A este respecto, una alternativa para reducir tal costo es reutilizar este inóculo hasta por siete días (Flores-Hernández, A., comunicación personal, 3 de junio de 2022), lo cual permite procesar siete lotes adicionales, con lo cual el costo del kilogramo de MS del nopal del tratamiento 22 resulta en \$8.64 pesos, lo que representa un ahorro de aproximadamente el 45% respecto del costo inicial.

## Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación, se puede concluir lo siguiente. El chamuscado de las espinas de nopal duraznillo ocasionó una menor densidad microbiana. El nopal duraznillo fermentado aeróbicamente pudiera favorecer el consumo de materia seca y disminuir el riesgo de una acidosis ruminal, dado que representa un aporte de levadura *Saccharomyces cerevisiae*. La máxima densidad celular microbiana se obtuvo a las 24 horas, por lo que se recomienda fermentar el nopal duraznillo con este tiempo como máximo. Con base a su composición química y DIVMS, se considera que el nopal duraznillo fermentado durante 24 h, con aditivo y sin chamuscar, presenta buena calidad nutricional para el ganado. Se recomienda que el nopal duraznillo fermentado se ofrezca al ganado bovino junto con una fuente de carbohidratos de rápida degradación, a efecto de sincronizar la degradación de las fuentes de energía y proteína a nivel ruminal.

## Agradecimientos

Se agradece a la Universidad Tecnológica De Rodeo por las facilidades otorgadas para realizar el proceso de fermentación en estado sólido y el recuento microbiano dentro del Laboratorio de Tecnología del Agua de dicha institución.

## Conflictos de interés

Los autores manifestamos que no existe conflicto de interés al someter el presente manuscrito a consideración para publicación en esta revista.

## Referencias

- ANKOM Technology. (2020). *Analytical procedures. Daisy incubators*. Ankom.com. <https://www.ankom.com/analytical-methods-support/daisy-incubators>
- Araújo, L., Nunes, A., Perazzo, A., Conrado, L., & Honorato, F. L. (2005). Protein enrichment of cactus pear (*Opuntia ficus-indica* Mill) using *Saccharomyces cerevisiae* in solid-state fermentation. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 48,161-168. <https://www.scielo.br/j/babt/a/m49PcvJyjtgsZKMJ5VCMLkC/?format=pdf&lang=en>
- Association of Official Analytical Chemistry (AOAC). (2005). *International official methods of analysis* (15<sup>th</sup> Ed.). AOAC.

- Berumen, L., Páez, J., Soto, N. O., Murillo, M., Herrera, E., & Muro, A. (2015). Chemical composition, *in vitro* gas production and energetic value of prickly pear fermented with and without *Kluyveromyces marxianus*. *Journal of BioScience and Biotechnology*, 4(3), 359-364. <http://www.jbb.uni-plovdiv.bg>
- Boze, H., Moulin, G., & Galzy, P. (1992). Production of food and fodder yeasts. *Critical Reviews in Biotechnology*, 12(1/2), 65-86. doi: <https://doi.org/10.3109/07388559209069188>
- Calderón, J. O., Elías, A., & Valdiviá, M. (2005). Dinámica de la fermentación en estado sólido de las camas de cascarilla de café en inicio de ponedoras inoculadas con vitafert. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 6(5), 1-8. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63617216016>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)-Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente del Estado de Durango-(SEMARNAT-Delegación Durango). (2017). *La biodiversidad en Durango. Estudio de Estado*. <https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/13345.pdf>
- Comisión Técnico Consultiva para la Determinación Regional de los Coeficientes de Agostadero (Cotecoca). (1979). *DURANGO. SARH*.
- de Villalobos, A. E. (2013). El sobrepastoreo del ganado doméstico como disparador de la arbustización. *BioScriba*, 6(1), 51-57. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/1465>
- Del Razo, O. E., Almaraz, I., Espinosa, V., Soriano, R., Miranda, L. A., Arias, L., Guan, L., Buendía, G., & Pelaez, A. (2015). Comparative analysis of the *in vitro* fermentation of wasted cladodes (*Opuntia* spp.), lucerne and oat hays. *South African Journal of Animal Science*, 45(5), 470-475. doi: <http://dx.doi.org/10.4314/sajas.v45i5.3>
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (1994). Norma Oficial Mexicana NOM-065-SSA1-1993. *Especificaciones sanitarias de los medios de cultivo*. Generalidades. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69468.pdf>
- Díaz-Plascencia, D., Rodríguez-Muela, C., Mancillas-Flores, P., Ruíz-Holguín, N., Mena-Munguía, S., Salvador-Torres, F., & Duran-Melendez, L. (2012). Fermentación *in vitro* de nopal forrajero con un inóculo de levadura *Kluyveromyces lactis* obtenida a partir de manzana de desecho. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 13(1), 1-11. <https://www.redalyc.org/pdf/636/63623398002.pdf>
- Dubeux, J. C. B., Ben Salem, H., & Nefzaoui, A. (2018). Producción y utilización del nopal forrajero en la nutrición animal. En P. Inglese, C. Mondragón-Jacobo, A. Nefzaoui & C. Sáenz (eds.), *Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal* (pp. 78-96). FAO-ICARDA. [https://agroavances.com/img/publicacion\\_documentos/I7628ES.pdf](https://agroavances.com/img/publicacion_documentos/I7628ES.pdf)
- Flores-Hernández, A., Macías-Rodríguez, F. J., Meza-Herrera, C. A., García-Herrera, G., Esquivel-Arriaga, O., Hernández-Bautista, C., & Murillo-Amador, B. (2021). Aerobic semi-solid fermentation of *Opuntia megacantha* as feed supplement and its effect on dairy cows (Holstein). *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 23, 12-25. <https://www.researchgate.net/publication/349609008>
- Flores-Hernández, A., Macías-Rodríguez, F. J., García-Herrera, G., Ortega-Sánchez, J. L., Meza-Herrera, C., & Murillo-Amador, B. (2019). Quality of fermented cactus pear (*Opuntia* spp.) and its effect on liveweight gain of Dorper lambs. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 21, 57-70. [https://www.researchgate.net/publication/336564087\\_Quality\\_of\\_fermented\\_cactus\\_pear\\_Opuntia\\_spp\\_and\\_its\\_effect\\_on\\_liveweight\\_gain\\_of\\_Dorper\\_lambs](https://www.researchgate.net/publication/336564087_Quality_of_fermented_cactus_pear_Opuntia_spp_and_its_effect_on_liveweight_gain_of_Dorper_lambs)
- Gad, A. S., Hasan, E. A., & Abd El Aziz, A. (2010). Utilization of *Opuntia ficus indica* waste for production of *Phanerochaete chrysosporium* bioprotein. *Journal of American Science*, 6(8), 208-216. [http://www.jofamericanscience.org/journals/am-sci/am0608/27\\_2590\\_am0608\\_208\\_216.pdf](http://www.jofamericanscience.org/journals/am-sci/am0608/27_2590_am0608_208_216.pdf)
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen* (5a ed). UNAM. <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/book/83>
- González, F. (2012). *Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación* (1a ed.). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat)-Instituto Nacional de Ecología (INECC). <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/668/zonas.pdf>
- Herrera-Torres, E., Pámanes-Carrasco, G., Araiza-Rosales, E., Sánchez-Arroyo, F., Palacios-Torres, J., & Murillo-Ortiz, M. (2022). *In vitro* gas production, rumen fermentation and production performance of steers fed multinutritional prickly pear blocks. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 31(3), 1-7. doi: <https://doi.org/10.22358/jafs/149991/2022>

- Herrera-Torres, E., Murillo, M., Berumen, L., Páez, J., & Villareal, G. (2014). Efecto de *Sacharomyces cerevisiae* y *Kluyveromices marxianus* durante el tiempo de fermentación en la calidad nutritiva del nopal forrajero. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 1(1), 33-40. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-90282014000100004](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282014000100004)
- Krizsan, S. J., & Randby, A. T. (2007). The effect of fermentation quality on the voluntary intake of grass silage by growing cattle fed silage as the sole feed. *Journal of Animal Science*, 85(4), 984-996. doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2005-587>
- López-García, J. J., Fuentes-Rodríguez, J. M., & Rodríguez, R. A. (2001). Cactus (*Opuntia* spp.) as forage. En C. Mondragon-Jacobo & S. Pérez-González (eds.), *Production and use of Opuntia as forage in northern México* (pp. 29-30). FAO. <https://www.fao.org/3/y2808e/y2808e.pdf>
- Magrin, L., Gottardo, F., Fiore, E., Gianesella, M., Martin, B., Chevaux, E., & Cozzi, G. (2018). Use of a live yeast strain of *Saccharomyces cerevisiae* in a high-concentrate diet fed to finishing Charolais bulls: effects on growth, slaughter performance, behavior, and rumen environment. *Animal Feed Science and Technology*, 241, 84-93. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.04.021>
- Martínez, A. L. (2009). Urea de lenta degradación ruminal como sustituto de proteína vegetal en dietas para rumiantes. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 10(12), 1-14. <https://www.redalyc.org/pdf/636/63617155008.pdf>
- Meza-Herrera, C. A., Romero-Rodríguez, C. A., Nevárez-Domínguez, A., Flores-Hernández, A., Cano-Villegas, O., Macías-Cruz, U., Mellado, M., Calderón-Leyva, G., Carrillo-Moreno, D., & Véliz-Deras, F. G. (2019). The *Opuntia* effect and the reactivation of ovarian function and blood metabolite concentrations of anestrous goats exposed to active males. *Animals*, 9, 550. doi: <https://doi.org/10.3390/ani9080550>
- National Research Council (NRC). (2000). *Nutrient requirements of beef cattle* (7<sup>th</sup> Ed. Rev.). National Academies Press.
- Nduka, O. (2007). *Modern industrial microbiology and biotechnology*. Science Publishers.
- Ortiz, F., Reyes, O., Carrete, F. O., Sánchez, J. F., Herrera, E., Murillo, M., & Rosales, R. (2017). Nutritional and fermentative quality of maralfalfa (*Pennisetum* sp.) silages at different cutting ages and ground corn levels. *Revista de la Facultad De Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Cuyo*, 49(2), 345-353. <https://www.redalyc.org/pdf/3828/382853527024.pdf>
- Pastrana, L. (1996). Fundamentos de la fermentación en estado sólido y aplicación a la industria alimentaria. *CYTA - Journal of Food*, 1(3), 4-12. doi: <https://doi.org/10.1080/11358129609487556>
- Perry, T. W., & Cecava, M. J. (1995). *Beef cattle feeding and nutrition* (2<sup>nd</sup> Ed.). Academic Press.
- Pinos-Rodríguez, J. M., Duque-Briones, R., Reyes-Agüero, J. A., Aguirre-Rivera, J. R., García-López, J. C., & González-Muñoz, S. (2006). Effect of species and age on nutrient content and *in vitro* digestibility of *Opuntia* spp. *Journal of Applied Animal Research*, 30(1), 13-17. doi: <https://doi.org/10.1080/09712119.2006.9706816>
- Pontón, J. (2008). La pared celular de los hongos y el mecanismo de acción de la anidulafungina. *Revista Iberoamericana de Micología*, 25, 78-82. doi: [https://doi.org/10.1016/S1130-1406\(08\)70024-X](https://doi.org/10.1016/S1130-1406(08)70024-X)
- Reveles-Hernández, M., Flores-Ortiz, M. A., Blanco-Macías, F., Valdez-Cepeda, R. D., & Félix-Reyes, G. (2010). El manejo del nopal forrajero en la producción del ganado bovino. *Revista Salud Pública y Nutrición, Edición Especial*, 5, 130-144. [https://kipdf.com/download/el-manejo-del-nopal-forrajero-en-la-produccion-del-ganado-bovino-manuel-reveles-\\_5b12a4927f8b9a196d8b4608.html](https://kipdf.com/download/el-manejo-del-nopal-forrajero-en-la-produccion-del-ganado-bovino-manuel-reveles-_5b12a4927f8b9a196d8b4608.html)
- Statistical Analysis System (SAS). (2003). *SAS Release 9.1*. SAS Institute, Inc.
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583-3597. doi: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Vrabl, P., Schinagl, C. W., Artmann, D. J., Heiss, B., & Burgstaller, W. (2019). Fungal growth in batch culture-What we could benefit if we start looking closer. *Frontiers in Microbiology*, 10, 1-11. doi: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02391>
- Zumbado-Rivera, W., Esquivel-Rodríguez, P., & Wong-González, E. (2006). Selección de una levadura para la producción de biomasa: crecimiento en suero de queso. *Agronomía Mesoamericana*, 17(2), 151-160. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43717202>