



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CAMPUS CONCÁ**  
**Lic. en Ingeniería Agroindustrial**

**Caracterización del producto de fermentación del nopal (*Opuntia spp*) bajo  
diferentes condiciones de fermentación**

**Opción de titulación**  
**Tesis**

**Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de Licenciada en  
Ingeniería Agroindustrial**

**Presenta:**  
**Mónica Alejandra Briseño Alvarado**

**Dirigida por:**  
**M. en C. Julieta Sánchez Velázquez**

M. en C. Julieta Sánchez Velázquez  
Presidenta

L.M. Guillermo Pérez Vázquez  
Secretario

Dr. Guillermo Abraham Peña Herrejón  
Vocal

M. en C. Adán Mercado Luna  
Suplente

M. en C. Judith Gabriela Luna Zúñiga  
Suplente

Dr. Manuel Toledano Ayala  
Director de la Facultad de Ingeniería

Centro Universitario, Querétaro, Qro.  
Noviembre 2023



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales  
de Información



Caracterización del producto de fermentación del  
nopal (*Opuntia spp*) bajo diferentes condiciones de  
fermentación.

**por**

Mónica Alejandra Briseño Alvarado

se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons  
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0  
Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

**Clave RI:** IGLIN-265798

## ÍNDICE

DATOS GENERALES .....	2
RESUMEN .....	3
PALABRAS CLAVE.....	3
INTRODUCCIÓN .....	3
HIPÓTESIS .....	7
OBJETIVOS .....	7
MATERIALES Y MÉTODOS .....	7
Diagrama general del experimento.....	7
Material vegetal .....	8
Pruebas de fermentación.....	8
Comparación de nopal y fermento semisólido de nopal .....	9
Comparación de fermentación con agitación y sin agitación .....	9
Comparación de fermentación con inóculo completo y con pre-cultivo .....	9
Análisis químico proximal .....	9
Compuestos anti-nutricionales.....	10
Consideraciones Éticas .....	10
Normas generales de seguridad .....	10
Análisis estadísticos .....	10
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	11
CONCLUSIÓN .....	17
REFERENCIAS.....	18

## DATOS GENERALES

- Título del proyecto de Tesis: Caracterización del producto de fermentación del nopal (*Opuntia* spp) bajo diferentes condiciones de fermentación.
- Nombre del alumno: Mónica Alejandra Briseño Alvarado
- Número de expediente: 265798
- Programa de Estudios a realizar (maestría o doctorado): Lic. en Ingeniería Agroindustrial
- Director de Tesis: M. en C. Julieta Sánchez Velázquez
- Secretario: L.M. Guillermo Pérez Vázquez
- Vocal: Dr. Guillermo Abraham Peña Herrejón
- Suplentes: M. en C Adán Mercado Luna; M. en C. Judith Gabriela Luna Zúñiga
- Lugar donde se realizará la investigación: Universidad Autónoma de Querétaro, Campus Conca
- Línea de investigación: Nutrición animal
- Tipo de investigación: Aplicada
- Horario de trabajo: 12:00 a 16:00

## RESUMEN

México presenta épocas de escasez de alimento para los animales de pastoreo, por lo que los ganaderos recurren a forrajes cultivados para mantener la productividad, pero debido a la escasez de agua y baja fertilidad del suelo la producción de dichos forrajes se dificulta, incrementando los costos de producción. Bajo este contexto una alternativa de alimentación viable, adecuada para su producción bajo estas condiciones es el Nopal (*Opuntia spp*), la cual presenta un alto contenido en compuestos benéficos para la alimentación de rumiantes, pero debido a su bajo contenido de fibra, proteínas y energía, no es posible su uso como única fuente de alimentación. Una propuesta para mejorar la calidad nutrimental del Nopal es la fermentación semisólida con levadura (*Saccharomyces cerevisiae*). En el presente estudio se determinará el contenido proteico del Nopal, para mejorar así la calidad nutrimental del forraje. A la par se determinará la viabilidad de realizar la fermentación sin agitación, así como la posibilidad de reducir el inóculo de levadura para reducir costos.

## PALABRAS CLAVE

Suplemento alimenticio; Fermentación semisólida; Nopal *Opuntia spp*

## INTRODUCCIÓN

Las zonas áridas y semiáridas en México ocupan más de la mitad del territorio nacional y en estas áreas, las condiciones dificultan la producción de forraje, por lo que los ganaderos enfrentan limitaciones para la alimentación adecuada del ganado de pastoreo (CONAZA, 2011; Dubeux et al., 2021). Esta situación ha provocado que los ganaderos tengan que recurrir a forrajes cultivados, sin embargo, la escasez de agua y fertilidad de los suelos en esas zonas dificulta la producción de forrajes (De Fátima Araújo et al., 2005; Meza-Herrera et al., 2019; dos Santos et al., 2020). Por esta razón los productores adquieren productos comerciales para suplementar la alimentación del ganado, no obstante, su costo tiende a incrementar lo que disminuye su rentabilidad, para ello se están desarrollando soluciones óptimas que sean económicamente rentables y que ayuden a aumentar el rendimiento de

producción (De Fátima Araújo et al., 2005; Alhanafi et al., 2019). Los forrajes que utilizan como alternativa en épocas de sequía, no proporcionan los nutrientes requeridos para el ganado, lo que no permite mantener la productividad (Alhanafi et al., 2019; Araiza-Rosales et al., 2021).

Debido a las características nutritivas, su adaptabilidad, costo, capacidad de establecerse, reproducirse y crecer en condiciones agro-climatológicas adversas, el nopal (*Opuntia spp*), está entre las alternativas de forraje más viable (Alhanafi et al., 2019; Flores Hernández et al., 2019; Meza-Herrera et al., 2019). Además, se aprovecha en zonas áridas ya que se considera un almacén natural de agua y comparado con otros forrajes anuales, utiliza menos agua para su producción y crecimiento (Araiza-Rosales et al., 2021).

Aunque desde hace tiempos hereditarios el nopal se utiliza como forraje, la mayor parte de este se destina al consumo humano, donde solo se utiliza el cladodio y el resto se deteriora en la zona de recolección, partes que podrían ser utilizadas como suplemento para la alimentación de los animales de pastoreo, agregándole así valor a su producción (Miranda-Romero et al., 2019).

*Opuntia spp*, presenta un alto contenido de polifenoles, vitaminas, ácidos grasos poliinsaturados y aminoácidos, así como niveles altos de calcio y carbohidratos, pero su contenido de fibra y proteína cruda es bajo de 2.7 a 8.8% (De Fátima Araújo et al., 2005; Meza-Herrera et al., 2019). El contenido de grasas varía de 3.9 a 4.7 % y el contenido de energía metabolizable de 11-1 a 11-4 mj/kg (Cuevas Reyes et al., 2020). La composición de los cladodios va a depender de diferentes factores como el sitio de cultivo, la estación del año, la edad de la planta, entre otros, pero por lo general no cubre todos los requerimientos para la alimentación de rumiantes (Dubeux et al., 2021).

Enfocados a evaluar el proceso de fermentación en estado sólido (SSF, Solid state fermentation) en la búsqueda de la optimización del nopal como forraje, en la cual se fermenta nopal adicionando microorganismos para aumentar el contenido proteico del nopal y así utilizarlo como alimento animal (De Fátima Araújo et al., 2005; Herrera et al., 2017).

Se menciona que ganaderos al incluir nopal enriquecido con proteína en la dieta de ovinos incrementaron su ganancia diaria de peso (250 gr/día), agregando también que esto no sucedía con la alimentación típica antes de incluir nopal enriquecido, esta situación fue de gran agrado para los ganaderos por lo que en la actualidad no dejan de incluir nopal con proteína para las ovejas en todo el ciclo independientemente de la etapa de desarrollo en la que estén, destacando además que no han notado reacciones desfavorables (Flores Hernández et al., 2019). También se ha evaluado que añadir nopal en la dieta de cerdas lactantes no tiene efectos en la calidad de la leche, de igual manera no cambia la producción de los componentes físico-químicos (proteína, lactosa y grasa) de la leche de las cerdas, lo que muestra que no habrá problemas el desarrollo del lechón del nacimiento al destete (Ortiz-Rodríguez et al., 2017).

La fermentación sólida y semisólida no solo se ha realizado para aumentar el contenido proteico de los alimentos sino también para mejorar las posibilidades de conservación o cambio en las características físicas como, el color, el olor o el sabor en diferentes vegetales (Herrera et al., 2017; Flores Hernández et al., 2019; Flores-Hernández et al., 2021).

Una vez realizada la fermentación semisólida y se compruebe el contenido proteico obtenido durante el proceso además de ser suministrado al ganado para comprobar el aumento en la producción de leche y carne los forrajes obtenidos se pueden utilizar como complemento alimenticio (Herrera et al., 2017; Flores Hernández et al., 2019; Flores-Hernández et al., 2021).

La fermentación semisólida en nopal (*Opuntia spp*) se efectúa sobre pencas cortadas (sustrato) con la adición de una mezcla de minerales para aumentar el contenido de proteína, alcanzando valores de hasta el 30% de proteína al realizar la SSF en presencia de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* (De Fátima Araújo et al., 2005; Flores-Hernández et al., 2021). Adicionalmente se ha reportado que la suplementación alimenticia con *Opuntia* bajo procesos de fermentación favorece el incremento en la ganancia en peso de cabras, ovejas y vacas (Flores-Hernández et al., 2017, 2019, 2021; Alhanafi et al., 2019; Araiza-Rosales et al., 2021), así como

se ha observado que la suplementación tiene efectos benéficos en otros procesos como la mejora en la tasa de ovulación de cabras (Meza-Herrera et al., 2019) y el rendimiento de las crías de borregos (Cuevas Reyes et al., 2020; Véliz-Deras et al., 2020).

A pesar de los resultados obtenidos en estudios previos sobre la fermentación del nopal en presencia de levaduras, se debe considerar que los procesos de SSF se ven afectados por múltiples parámetros que modificaran el resultado de los productos de fermentación, incluyendo el tamaño de partícula, la temperatura, la composición del medio, los procesos de esterilización, la densidad del inóculo, la agitación, la aireación, el pH y el contenido de agua (Krishna, 2005; Abu Yazid et al., 2017; Olukomaiya et al., 2019). Dentro de estos parámetros, considerando procesos de SSF con un nivel bajo de automatización y control, se destaca la necesidad de ajustar la composición del medio de cultivo para permitir el correcto desarrollo de la levadura (Krishna, 2005). Estos medios de cultivo deberán formularse incluyendo componentes de fácil acceso a pequeños productores, para permitir la aplicación de la SSF del nopal con cualquier nivel tecnológico.

En un estudio realizado en donde se utilizó el proceso de fermentación en estado sólido, se determinó si tiene efectos sobre los parámetros de fermentación (temperatura y pH) y la composición química de dos especies forrajeras (pasto Taiwán y sorgo negro) y cáscara de piña, en relación a temperatura y pH si se encontraron diferencias significativas durante el proceso, sin embargo se demostró la mejora en la concentración de proteína cruda en la cáscara de piña a las 24 h de fermentación (Jiménez-Alfaro, David; Sobalvarro-Mena, Jorge Luis; Elizondo-Salazar, 2020).

En este trabajo se realizó la caracterización de la SSF del nopal con levadura con la finalidad de determinar la posibilidad de realizar el proceso de fermentación mediante una metodología de bajo costo, garantizando la mejora del Nopal como suplemento alimenticio para rumiantes. Los resultados sugieren que la SSF del Nopal es viable para el complemento de la alimentación animal y no requiere de un grado alto de manejo técnico, lo que permitiría su implementación bajo diferentes modelos productivos.



## HIPÓTESIS

La fermentación del nopal forrajero (*Opuntia spp*) con levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) en estado sólido permitirá aumentar su calidad nutricional en función de su composición proximal especialmente en el nivel proteína, para utilizarlo como suplemento alimenticio.

## OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar la composición química proximal del nopal forrajero (*Opuntia spp*) fermentado con levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) en estado sólido para utilizarlo como suplemento alimenticio.

Objetivos específicos

1. Evaluar la metodología de la fermentación en estado sólido y semisólido del nopal *Opuntia spp* para determinar cambios en la composición proximal en el producto
2. Caracterizar el producto de fermentación del Nopal (*Opuntia spp*) mediante el análisis de la composición química proximal para la determinación de su uso como suplemento alimenticio por el nivel de proteína alcanzado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Diagrama general del experimento

Diseño experimental está dado por 2 métodos diferentes de mezclado por 2 métodos de fermentación, por lo que se tienen 4 tratamientos que se realizaron por triplicado en un arreglo completamente al azar.

<i>Mezcla de la muestra</i>	<i>Inóculo completo</i>	<i>Pre cultivo</i>
<i>Con agitación</i>	Inóculo completo con agitación	Con agitación y precultivo

*Sin agitación*

Inóculo completo sin  
agitación

Sin agitación y precultivo

<b>Tratamientos de fermentación del nopal con <i>Saccharomyces cerevisiae</i> (por triplicado cada tratamiento)</b>	<b>Caracterización del producto fermentado</b>
<b>Nopal picado + <i>S. cerevisiae</i> con agitación</b>	Análisis químico proximal
<b>Nopal picado + <i>S. cerevisiae</i> sin agitación</b>	
<b>Nopal picado + <i>S. cerevisiae</i> con inóculo completo</b>	
<b>Nopal picado + <i>S. cerevisiae</i> con inóculo previamente activado (pre-cultivo)</b>	

### Material vegetal

El material vegetal será nopal no apto para consumo humano obtenido de productores. Las pruebas preliminares de fermentación se realizaron en muestras de nopal entero picado. Todas las pruebas de fermentación se realizaron sin refrigeración previa del material vegetal.

### Pruebas de fermentación

Los ensayos de fermentación se basaron en suplementar el sustrato (*Opuntia spp*) con urea y sulfato de amonio para permitir el crecimiento de *Saccharomyces cerevisiae* como se ha relatado previamente (De Fátima Araújo et al., 2005; Lizeth Torres-Ponce et al., 2015; Rodríguez-Hernández et al., 2015; Flores Hernández et al., 2019; Flores-Hernández et al., 2021), adaptando la técnica y las concentraciones. Se efectuaron tres pruebas experimentales orientadas al aumento del aporte proteico del nopal y en la disminución de los costos del proceso de fermentación semisólida, considerando un modelo de producción de bajo grado de tecnificación. Todas las formulaciones se hicieron en base en la masa de nopal utilizado, disolviendo en primera instancia en un volumen de agua de aproximadamente del 5% respecto a la masa del sustrato. El tiempo aproximado de fermentación será de 24 horas junto con el sustrato.

### Comparación de nopal y fermento semisólido de nopal

La primera prueba consideró la comparación del nopal fresco con el fermento de nopal a partir de una formulación base de 1 kg de sustrato (nopal fresco) suplementado con 0.1% de sulfato de amonio y 1% de urea, inoculando al 1% m/m con levadura. Cada tratamiento consideró tres repeticiones, realizando el análisis químico proximal en cada una de estas.

### Comparación de fermentación con agitación y sin agitación

La segunda prueba consistió en fermentaciones con agitación continua y sin agitación en 1 kg de sustrato, suplementado con 0.1% de sulfato de amonio y 1% de urea, inoculando al 1% m/m con levadura. Cada tratamiento consideró tres repeticiones, realizando el análisis químico proximal en cada una de estas.

### Comparación de fermentación con inóculo completo y con pre-cultivo

La tercera prueba se realizó sin agitación considerando el tratamiento de fermento de nopal completo con 1 kg de sustrato suplementado con 0.1% de sulfato de amonio y 1% de urea, inoculando al 1% m/m con levadura y el tratamiento de fermento de nopal con un pre-cultivo de levadura. El pre-cultivo de levadura consideró permitir el crecimiento de *Saccharomyces cerevisiae* 48 horas previas al inóculo, los cultivos de levadura se realizaron utilizando el nopal como sustrato con suplementación de carbohidratos y sin suplementación de carbohidratos a diferentes concentraciones de inóculo (0.1%;0.25%;0.5%). El conteo de levaduras se realizó en cámara de Neubauer bajo el microscopio por triplicado. Posterior a la selección del pre-cultivo se realizó la fermentación de kg de sustrato suplementado con 0.1% de sulfato de amonio y 1% de urea, inoculando directamente con el pre-cultivo.

### Análisis químico proximal

La caracterización del producto de fermentación se realizó considerando la materia seca (M.S.) mediante el proceso de materia seca parcial adaptado de Goering y Van Soest. Las cenizas (CEN) de acuerdo con el proceso de cenizas de alimentación animal (942.05, AOAC,). La proteína cruda (PC) según el proceso de PC de

alimentación animal (990.03, AOAC,). La fibra detergente neutra (FDN) por el método de Van Soest. El extracto etéreo (EE) por los métodos de Goldfish y Soxhlet.

### Compuestos anti-nutricionales

Adicionalmente se consideraron las concentraciones de Ácido Fítico y Taninos Condensados determinados mediante técnicas espectrofotométricas como se ha descrito previamente (Marolt, et al. 2021; Schofield et al. 2001) a partir de los extractos en base seca.

### Consideraciones Éticas

#### Normas generales de seguridad

Para las determinaciones en laboratorio que se realizarán en este trabajo será necesario contar con el equipo adecuado de seguridad, que incluye: Bata blanca de manga larga y algodón, lentes de seguridad, cubrebocas, guantes de látex y zapato cerrado. Se revisarán y seguirán de forma adecuada los manuales de procedimiento e instructivos de equipo, así como se tendrá asesoría sobre los dispositivos empleados durante los experimentos.

#### Análisis estadísticos

Para comparar las diferentes características se utilizó una ANOVA o prueba de t de Student según corresponda. Si se encuentre diferencia estadística significativa se realizó una prueba de Tukey. El valor de significancia se estableció en 0.05. La información se presenta como medias y errores estándar.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para todos los tratamientos la fermentación de nopal se realizó con pencas maduras otorgadas directamente por el productor. Se almacenaron a temperatura ambiente antes de realizar el proceso, el tiempo de almacenamiento vario de entre 5 y 14 días sin mostrar diferencia en los valores de proteína cruda que se obtuvieron ( $p>0.5$ ).

### *Fermentación semisólida de nopal*

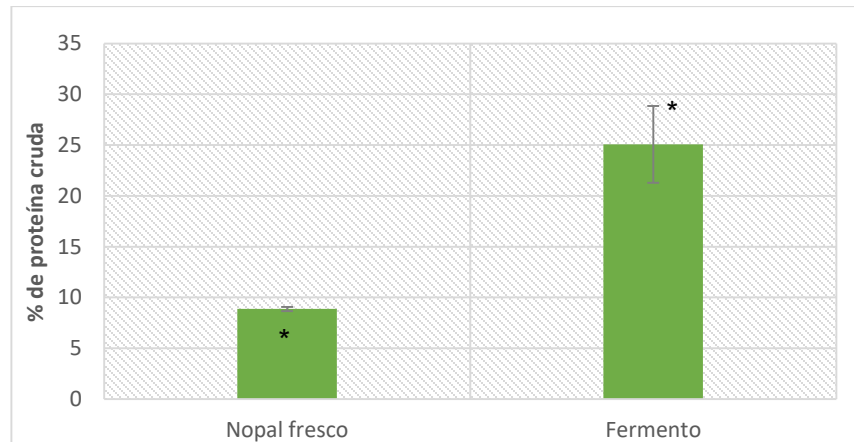
En la Tabla 1 se pueden observar los resultados obtenidos del análisis proximal de la comparación del nopal sin fermentar y el nopal con el fermento. Se enfatiza que el porcentaje de proteína cruda en base seca se incrementó de un  $8.7\pm 0.17\%$  a  $24.37\pm 0.63\%$  ( $p<0.05$ ) Figura 1, por lo cual se puede asegurar que la fermentación del nopal con la levadura mejora considerablemente el contenido de proteína, conservando las demás propiedades benéficas del nopal.

Tabla 1 Análisis proximal en base seca de fermentación semisólida y nopal fresco

	Nopal fresco			Fermento		
% M. S.	97.57	±	0.32*	94.44	±	0.57*
% PC	8.70	±	0.17*	24.37	±	0.63*
% EE	1.03	±	0.12	1.12	±	0.20
% FDN	40.00	±	0.44	37.67	±	3.09
% CEN	24.97	±	0.51	22.65	±	2.20

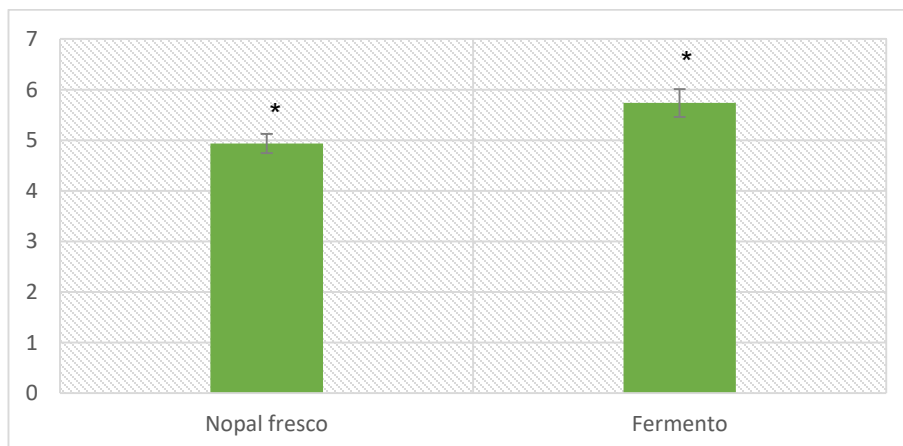
M.S., %Materia Seca; PC, Proteína cruda (% N x 6.25); EE, % Extracto etéreo; FDN, % Fibra detergente neutra; CEN, %Cenizas. Datos reportados en base a materia seca, promedio y desviación estándar por triplicado. \*denotan diferencia estadística significativa  $p<0.05$ .

Figura 1 Porcentaje de proteína cruda en base seca



Se deberá tomar en cuenta que los resultados son en base seca y como se muestra en la Figura 2 el contenido de materia seca tanto para el nopal fresco como el fermento se encuentran en valores menores al 10% en base húmeda, con un valor significativamente menor para el nopal fresco, probablemente debido a la facilidad de evaporación de agua, derivado del inóculo y la lisis celular generada durante la fermentación. A partir de estos resultados se puede observar la necesidad de plantear una dieta en donde el nopal sea la principal fuente de agua y realizar procesos de secado para facilitar su inclusión en la dieta.

Figura 2 Porcentaje de Materia Seca en base húmeda



### *Fermentación con agitación y sin agitación*

La fermentación con agitación y sin agitación obtuvieron valores muy cercanos sin observar diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ) tal como se muestra en la Tabla 2. Cabe destacar que en estos tratamientos el promedio más alto de proteína cruda se encontró en el fermento sin agitación, el cual se cuidó estuviera realizado a partir de una capa delgada de sustrato la cual se mezcló abundantemente con el inóculo al iniciar la fermentación y se realizó un segundo mezclado a las 12 horas de fermentación.

*Tabla 2* Análisis proximal en Base Seca de fermentación semisólida con agitación y sin agitación

	Fermento sin agitación			Fermento con agitación		
<b>% M. S.</b>	94.48	±	1.33	94.40	±	0.22
<b>% PC</b>	25.73	±	1.75	23.00	±	1.81
<b>% EE</b>	1.33	±	0.15	0.90	±	0.26
<b>% FDN</b>	38.53	±	3.11	36.80	±	3.12
<b>% CEN</b>	23.37	±	1.99	21.93	±	2.61

M.S., %Materia Seca; PC, Proteína cruda (% N x 6.25); EE, % Extracto etéreo; FDN, % Fibra detergente neutra; CEN, %Cenizas. Datos reportados en base a materia seca, promedio y desviación estándar por triplicado. \* denotan diferencia estadística significativa  $p < 0.05$ .

A partir de los resultados se considera que la agitación no es necesaria, lo que facilita el proceso de fermentación y reduce el requerimiento tecnológico y de inversión para su aplicación. Será necesario realizar una confirmación al momento de escalar el volumen de fermentación, a la vez que se tendrá que garantizar que la fermentación se realice en una capa lo suficientemente delgada para permitir el intercambio de gases.

### *Fermentación con inóculo completo y con pre-cultivo*

Las pruebas preliminares para la elaboración del pre-cultivo consideraron el cultivo en medio líquido utilizando el nopal picado como sustrato a una proporción 10 veces mayor que la concentración buscada y se suplementó con sacarosa. Para preparar el inóculo para 1 kg de sustrato se utilizó la masa del sustrato final como base para calcular las concentraciones del pre-cultivo, considerando 0.1, 0.25 o 0.5 % m/m de levadura inoculado en un volumen de agua de aproximadamente el 10% del sustrato final, suplementado con sacarosa al 1% m/m. El tratamiento con la menor densidad de levaduras fue el de 0.1 % ( $p < 0.05$ ) y no se observó diferencia estadística significativa entre los pre-cultivos al 0.25 y 0.5% ( $p > 0.05$ ) Se consideró como punto de comparación el cultivo al 1% el cual obtuvo valores significativamente mayores en el tiempo 0 pero no presentó diferencia significativa respecto al 0.25 y 0.5 % a las 48 horas. Estos resultados sugieren que las levaduras comerciales requerirán de un sustrato especializado para poder incrementar adecuadamente su concentración

Respecto a los resultados de los análisis proximales con el pre-cultivo en comparación del cultivo completo (Tabla 3) se destaca el menor incremento de proteína cruda, alcanzando valores de  $16.27 \pm 0.49$  que a pesar de ser significativamente mayores que los observados en el nopal fresco, son menores que en el cultivo con el inóculo directo al 1% de levadura (Tabla 3). Será necesario considerar la pertinencia de utilizar cultivos especializados durante el pre-cultivo para incrementar el número de levaduras disponibles o realizar cultivos seriados en fermentación semisólida para mejorar el incremento de proteína. Se requieren realizar más experimentos respecto al pre-cultivo en medio semisólido para lograr obtener los mismos incrementos de proteína. Independientemente el incremento de proteína obtenido con el pre-cultivo indica un potencial de esta metodología para disminuir los costos generados por el uso de levadura.



Tabla 3 Análisis proximal en Base Seca de fermentación semisólida con pre-cultivo y completo

	Nopal fresco			Fermento con pre-cultivo			Fermento completo		
<b>% M. S.</b>	95.93	±	0.12 <sup>a</sup>	95.67	±	0.40 <sup>b</sup>	92.50	±	1.04 <sup>b</sup>
<b>% PC</b>	8.87	±	0.21 <sup>a</sup>	16.27	±	0.49 <sup>b</sup>	25.07	±	3.77 <sup>c</sup>
<b>% EE</b>	1.03	±	0.12 <sup>a</sup>	1.57	±	0.06 <sup>b</sup>	1.83	±	0.21 <sup>b</sup>
<b>% FDN</b>	26.83	±	0.29 <sup>a</sup>	30.03	±	0.55 <sup>b</sup>	27.67	±	0.29 <sup>a</sup>
<b>% CEN</b>	27.20	±	0.70 <sup>b</sup>	24.50	±	0.92 <sup>a</sup>	26.93	±	1.19 <sup>b</sup>

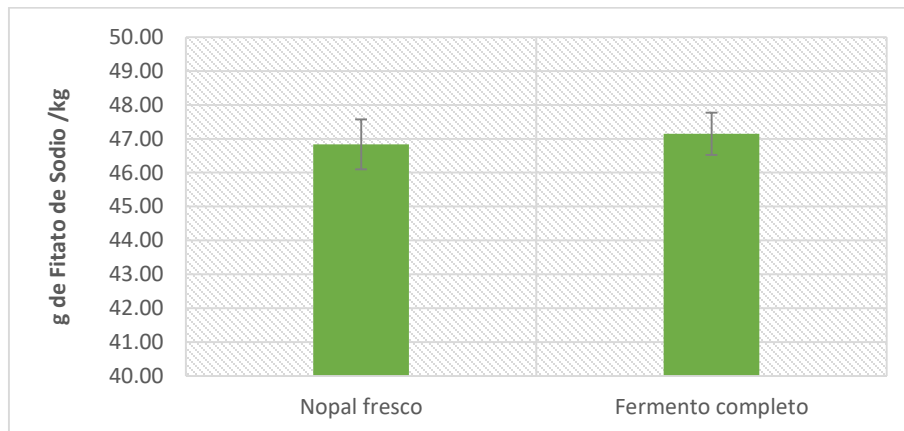
M.S., %Materia Seca; PC, Proteína cruda (% N x 6.25); EE, % Extracto etéreo; FDN, % Fibra detergente neutra; CEN, %Cenizas. Datos reportados en base a materia seca, promedio y desviación estándar por triplicado. <sup>abc</sup> denotan diferencia estadística significativa p<0.05.

#### *Compuestos anti-nutricionales*

La inclusión del nopal como componente de la dieta en animales requiere considerar su efecto en la asimilación de nutrientes. Dos de los principales componentes que a altas concentraciones pueden llegar a generar interferencia en la asimilación de nutrientes son en ácido fítico y los taninos, por lo que se determinaron sus concentraciones (Figura 3; Figura 4) con la finalidad de determinar la viabilidad de incrementar su porcentaje de inclusión en las dietas.

Se ha reportado que concentraciones de ácido fítico mayores 5g/kg pueden llegar a afectar la digestibilidad de micronutrientes y concentraciones de más de 30g/kg pueden tener efectos adversos en la ganancia en peso del animal (Lopes da Costa et al., 2021; Ray et al., 2013). Los valores observados en el nopal son superiores a los recomendados (Figura 3), aunque esto es considerando base seca, ya que si se toma en cuenta la base húmeda el nopal presenta valores de menos de 3 g/kg. La dieta tendrá que formularse considerando no superar los límites recomendados para la alimentación animal.

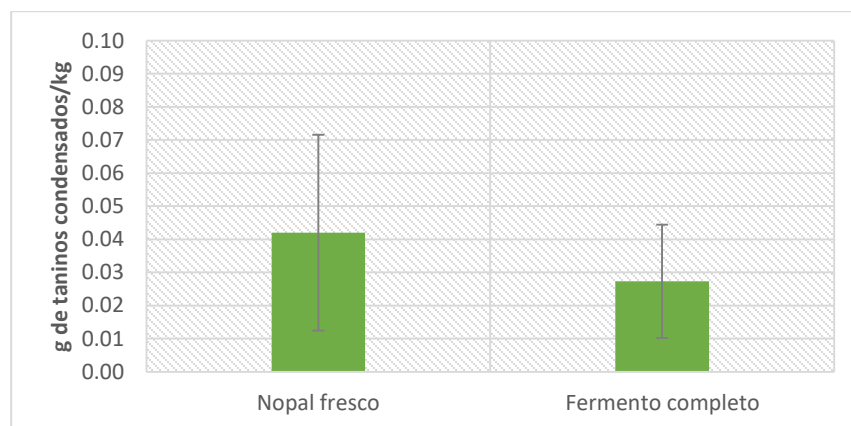
Figura 3 Análisis de Ácido Fítico en Base Seca



M.S., %Materia Seca; PC, Proteína cruda (% N x 6.25); EE, % Extracto etéreo; FDN, % Fibra detergente neutra; CEN, %Cenizas. Datos reportados en base a materia seca, promedio y desviación estándar por triplicado. \* denotan diferencia estadística significativa  $p < 0.05$ .

Se considera que concentraciones menores a 3g/kg de taninos en la dieta de rumiantes no genera una disminución en el rendimiento, si no que al contrario pueden generar beneficios al animal (Mergedus et al 2020) y tal como se observa en la Figura 4 la concentración en base seca del nopal fermentado es menor a 0.5 g /kg, por lo que no existe un riesgo en el incremento de su inclusión.

Figura 4 Análisis de Taninos Condensados en Base Seca



M.S., %Materia Seca; PC, Proteína cruda (% N x 6.25); EE, % Extracto etéreo; FDN, % Fibra detergente neutra; CEN, %Cenizas. Datos reportados en base a materia seca, promedio y desviación estándar por triplicado. \* denotan diferencia estadística significativa  $p < 0.05$ .

## CONCLUSIÓN

El aumento de proteína es notable entre el nopal fresco y la fermentación semisólida, lo que indica que se puede cubrir la demanda proteica de los animales, sin embargo, debido a la alta concentración de humedad se tendría que utilizar mayor cantidad de producto húmedo para abarcar todas las exigencias nutricionales del animal. Por otro lado, la presencia de compuestos anti-nutricionales nos dice que convendrá tener exclusiva atención en el contenido de Ac. Fítico mientras se formula la dieta, no obstante, independiente a esto no se encuentran concentraciones altas de factores anti nutricios que logren alterar la microbiota del animal, ocasionar trastornos metabólicos, ni intoxicación, con estas condiciones y comparando con alimentos similares en cuanto a composición y procesamiento se puede inferir un parámetro similar al 15% de la porción total en una dieta enfocada en animales de abasto de especies rumiantes. Para establecer exactamente el porcentaje de inclusión para aprovechar mejor el sustrato y su efecto en el rumen sin perjudicar la ganancia en peso, se propone efectuar pruebas adicionales en animales vivos.

Se sugiere continuar con pruebas in vitro en el rumen de los animales, así como realizar la alimentación de rumiantes con la formulación de nopal completa bajo una dieta balanceada, lo que permitiría identificar si existen limitantes o beneficios adicionales de la implementación de esta dieta.

## REFERENCIAS

- Abu Yazid, N., Barrena, R., Komilis, D. & Sánchez, A. (2017). Solid-State Fermentation as a Novel Paradigm for Organic Waste Valorization: A Review. *Sustainability* 9, 224.
- Alhanafi, F., Kaysi, Y., Muna, M., Alkhtib, A., Wamatu, J. & Burton, E. (2019). Spineless cactus (*Opuntia ficus-indica*) and saltbush (*Atriplex halimus* L.) as feed supplements for fattening Awassi male lambs: effect on digestibility, water consumption, blood metabolites, and growth performance. *Trop. Anim. Health Prod.* 51, 1637–1644.
- Animal Feed Science and Technology*, 276:114915.
- Araiza-Rosales, E., González-Arreola, A., Pámanes-Carrasco, G., Murillo-Ortiz, M., Jiménez-Ocampo, R. & Herrera-Torres, E. (2021). Calidad fermentativa y producción de metano en ensilados de rastrojo de maíz adicionados con nopal fermentado y sin fermentar. *Abanico Vet.* 11, 1–13.
- Bellon-Maurel, V., Orliac, O. & Christen, P. (2003). Sensors and measurements in solid state fermentation: a review. *Process Biochem.* 38, 881–896.
- Castellano, J., Marrero, M.D., Ortega, Z., Romero, F., Benitez, A.N. & Ventura, M.R. (2021). *Opuntia* spp. Fibre Characterisation to Obtain Sustainable Materials in the Composites Field. *Polymers (Basel)*. 13, 2085.
- CONAZA. (2011). Lineamientos Operativos del Proyecto Transversal de Desarrollo de las Zonas Áridas 2011.
- Cuevas Reyes, V., Santiago Hernandez, F., Flores Najera, M. de J., Vazquez Garcia, J.M., Urrutia Morales, J., Hosseini-Ghaffari, M., Chay-Canul, A., Meza-Herrera, C.A., Gonzalez-Bulnes, A., Martin, G.B. & Rosales Nieto, C.A. (2020). Intake of Spineless Cladodes of *Opuntia ficus-indica* During Late Pregnancy Improves Progeny Performance in Underfed Sheep. *Animals* 10, 995.
- De Fátima Araújo, L., Medeiros, A.N., Neto, A.P., De Sousa Conrado Oliveira, L. & Da Silva, F.L.H. (2005). Protein enrichment of cactus pear (*Opuntia ficus - indica* Mill) using *Saccharomyces cerevisiae* in solid-state fermentation. *Brazilian Arch. Biol. Technol.* 48, 161–168.
- dos Santos, K.C., de Carvalho, F.F.R., Magalhães, A.L.R., da Silva, F.J.S., Cardoso, D.B., Sousa, D.R., da Silva, L.C.F.L., Nascimento, A.G. de O. &

- Batista, Â.M.V. (2020). Can urea associated with alternative carbohydrate sources replace conventional concentrate for lambs? *Livest. Sci.* 239, 104172.
- Dubeux, J.C.B., Santos, M.V.F. dos, Cunha, M.V. da, Santos, D.C. dos, Souza, R.T. de A., Mello, A.C.L. de & Souza, T.C. de. (2021). Cactus (*Opuntia* and *Nopalea*) nutritive value: A review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 275, 114890.
- Flores Hernández, A., Macías Rodríguez, F.J., Meza Herrera, C., García Herrera, G., Esquivel Arriaga, O., Ortiz Salazar, J. & Hernández Bautista, C. (2019). Semi-solid fermentation of nopal (*Opuntia* spp) for use as an animal protein supplement. *Rev. Geogr. Agrícola* 87–100.
- Flores-Hernández, A., Araújo-Filho, J.T., Gomes da Silva, F., Ramírez-Ordoñez, S., Murillo-Amador, B., Flores-Hernández, A., Araújo-Filho, J.T., Gomes da Silva, F., Ramírez-Ordoñez, S. & Murillo-Amador, B. (2017). Dietas a base de forraje tradicional y nopal (*Opuntia* spp.) enriquecido con proteínas para alimentar cabras. *Nov. Sci.* 9, 149–166.
- 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. *J. Prof. Assoc. Cactus Dev.* 21, 57–70.
- Flores-Hernández, A., Macías-Rodríguez, F.J., Meza-Herrera, C., 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). *J. Prof. Assoc. Cactus Dev.* 23, 12–25.
- Godoy, M.G., Amorim, G.M., Barreto, M.S. & Freire, D.M.G. (2018). Agricultural Residues as Animal Feed: Protein Enrichment and Detoxification Using Solid-State Fermentation. *Curr. Dev. Biotechnol. Bioeng.*
- Herrera, E., Murillo, M., Berumen, L., Soto-Cruz, N.O. & Páez-Lerma, J.B. (2017). Protein enrichment of *Opuntia ficus-indica* using *Kluyveromyces marxianus* in solid-state fermentation. *Cienc. e Investig. Agrar.* 44, 113–120.
- Jiménez-Alfaro, David; Sobalvarro-Mena, Jorge Luis; Elizondo-Salazar, J. A. 2020. Enriquecimiento Proteico De Dos Especies Forrajeras. 44: 175–187
- Krishna, C. (2005). Solid-State Fermentation Systems—An Overview. *Crit. Rev. Biotechnol.* 25, 1–30.

- Lizeth Torres-Ponce, R., Morales-Corral, D., de Lourdes Ballinas-Casarrubias, M. & Virginia Nevárez-Moorillón, G. (2015). El nopal: planta del semidesierto con aplicaciones en farmacia, alimentos y nutrición animal. *Rev. Mex. Ciencias Agrícolas* 6, 1129–1142.
- Lopes da Costa Letícia, Taida Juliana Adorian, Fernanda Rodrigues Goulart, Jossiele Leitemperger, Aline M.B. do Amaral, Vania Lucia Loro, Silvino Sasso Robalo, Leila Picolli da Silva. (2021) Phytic acid in Rhamdia quelen nutrition: Antioxidant or antinutrient?,
- Maceda, A., Soto-Hernández, M., Peña-Valdivia, C.B., Trejo, C. & Terrazas, T. (2020). Characterization of lignocellulose of *Opuntia* (Cactaceae) species using FTIR spectroscopy: possible candidates for renewable raw material. *Biomass Convers. Biorefinery*.
- Marolt G, Kolar M. (2021) Analytical Methods for Determination of Phytic Acid and Other Inositol Phosphates: A Review. *Molecules*, 26(1):174.
- Martí-Quijal, F.J., Khubber, S., Remize, F., Tomasevic, I., Roselló-Soto, E. & Barba, F.J. (2021). Obtaining Antioxidants and Natural Preservatives from Food By-Products through Fermentation: A Review. *Fermentation* 7, 106.
- Mergedus, Andrej & Pšenková, Martina & Marjan, Janzekovic. (2020). Tannins and their Effect on Production Efficiency of Ruminants. *Agricultura*. 12. 1-11. 10.18690/agricultura.15.1-2.1-11.2018.
- Meza-Herrera, C.A., Romero-Rodríguez, C.A., Nevárez-Dominguez, 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. *Anim*. 2019, Vol. 9, Page 550 9, 550.
- Miranda-Romero, L.A., Vazquez-Mendoza, P., Burgueño-Ferreira, J.A. & Aranda-Osorio, G. (2019). Nutritive value of cactus pear silages for finishing lambs. *J. Prof. Assoc. Cactus Dev*. 20, 196–215.
- Olukomaiya, O., Fernando, C., Mereddy, R., Li, X. & Sultanbawa, Y. (2019). Solid-state fermented plant protein sources in the diets of broiler chickens: A review. *Anim. Nutr*. 5, 319–330.
- Ortiz-Rodríguez, R., A. Orozco-Gaspar, D. Val-Arreola, L. Portillo-Martínez, y R. E. Pérez Sánchez. 2017. Efecto de la adición de nopal (*Opuntia ficus-indica*) a

la dieta de cerdas lactantes sobre la producción y calidad de la leche TT -  
Effect of addition of prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) to the diet of lactating  
sows on the production and quality of mil. *Nova scientia* 9: 290–312.

Ray P.P., J. Jarrett, K.F. Knowlton (2013) Effect of dietary phytate on phosphorus  
digestibility in dairy cows<sup>1</sup>, *Journal of Dairy Science*, 96(2):1156-1163.

Rodríguez-Hernández, J., Moraes-Rocha, G., Nevárez-Moorillon, G., Peralta-  
Pérez, M., Muñoz-Castellanos, L., Arevalo- Gallegos, S., Carrillo-Campos,  
J., Ballinas-Casarrubias, M. & \*. (2015). Protein Enrichment of *Opuntia* Spp.  
Using Different Biotechnological Treatments. *Adv. Crop Sci. Technol.* 03.

Sadh, P.K., Duhan, S. & Singh Duhan, J. (2018). Agro-industrial wastes and their  
utilization using solid state fermentation: a review. *Bioresour. Bioprocess.* 5,  
1.

Santos, K.C., Carvalho, F.F.R., Carriero, M.M., Magalhães, A.L.R., Batista, A.M.  
V., Fagundes, G.M. & Bueno, I.C.S. (2020). Use of different carbohydrate  
sources associated with urea and implications for in vitro fermentation and  
rumen microbial populations. *Anim. Prod. Sci.* 60, 1028.

Schofield, D.M Mbugua, A.N Pell. (2001) Analysis of condensed tannins: a review,  
*Animal Feed Science and Technology*, 91(1–2): 21-40.

Spalvins, K., Ivanovs, K. & Blumberga, D. (2018). Single cell protein production  
from waste biomass: Review of various agricultural by-products. *Agron.*  
*Res.* 16, 1493–1508.

Upadhyaya, S., Tiwari, S., Arora, N. & Singh, D.P. (2016). Microbial Protein: A  
Valuable Component for Future Food Security. *Microbes Environ. Manag.*  
260–279.

Véliz-Deras, F.G., Meza-Herrera, C.A., Herrera-Hernandez, S., Flores-Hernández,  
A., Guillén-Muñoz, J.M., Navarrete-Molina, C., Moreno-Avalos, S. &  
Rodríguez-Martínez, R. (2020). The *Opuntia* Effect Improves Dam-Kid  
Metabolic Markers, Augments Colostrum Quality and Enhances Kid-To-  
Dam Behavioral Interactions in Crossbred Goats and their Offspring under  
Semiarid-Rangeland Conditions. *Animals* 10, 931.