



Jorge Hernández Rodríguez y Alfonso Boyzo

Montes de Oca

CINVESTAV-IPN

jorgeh@fisio.cinvestav.mx



## Resumen

En México, el nopal (*Opuntia* spp.) es un alimento común para humanos y alternativo para el ganado. Su principal limitante es su bajo contenido en proteína y fósforo. En el presente trabajo, se describe un procedimiento de microfermentación que aumenta significativamente el contenido de proteína del nopal, su valor nutrimental, y que puede convertirse en un procedimiento de fermentación industrial a gran escala.

**Palabras clave:** nopal, *Opuntia*, incremento del contenido proteínico, microfermentación.

## Abstract

In Mexico, the nopal (*Opuntia* spp.) is a common food for humans and an alternative food for cattle. Its main nutritional limitation is its low protein and phosphorus content. In the present work we describe a microfermentation procedure that significantly increases the nopal protein content, and its nutritional value. This procedure may be raised to achieve a large scale industrial fermentation process.

**Key words:** nopal, *Opuntia*, protein content increase, microfermentation.

**Área temática:** Área 6. Biotecnología y Ciencias Agropecuarias.

## Problemática

Atender la falta de alimentos para humanos y animales, económicamente accesibles, con alto valor nutrimental.

## Usuarios

Dependencias federales como SAGARPA, SEMARNAT, SEDESOL, CONAGUA. Dependencias estatales relacionadas con el desarrollo sustentable y socioeconómico.

## Proyecto

Entre los mexicanos el nopal es un alimento tradicional que, además, tiene un uso potencial como forraje, pero con un limitado valor nutricional debido a su bajo contenido en proteína, de 0.94% a 4% (Nefzaoui y Ben Salem 2003), por lo que no es competitivo ante otras fuentes de proteína de origen animal o vegetal. Se puede mejorar el valor nutritivo del nopal mediante un proceso de fermentación en presencia de algunos microorganismos, los cuales transforman los polisacáridos (CHO) de las hojas o cladodios del nopal, en moléculas más simples de carbono que, al agregar fuentes de nitrógeno (sulfato de amonio; urea), pueden transformarlas en proteína. Este proceso ha sido ya ensayado con técnicas de macrofermentación con el fin de emplearlo como forraje (Aranda y cols., 2009, Flores y Aranda, 1997). Asimismo, se ha intentado y propuesto el uso del nopal, en su forma natural, como complemento de forrajes ya empleados para alimentar ganado ovino o caprino (Nefzaoui y Ben Salem 2003, Cordeiro y Gonzaga 2003, López et al., 2003, Reveles-Hernández et al., 2009, Felker, 2001).

Los alimentos a base de nopal, con alto valor proteínico, podrían emplearse para consumo humano, tanto en adultos como en niños y jóvenes, en sustitución de los alimentos “chatarra”, con la ventaja de abatir los riesgos de obesidad, síndrome metabólico, diabetes, etc., que acarrea el consumo regular de golosinas con alto contenido en carbohidratos y grasas. La presentación de productos derivados del nopal (en las escuelas), en forma de “golosinas”, con palatabilidad y digestibilidad apropiados, es una alternativa viable para el combate de la obesidad infantil y juvenil.

Los objetivos del proyecto fueron desarrollar un proceso de microfermentación de nopal homogeneizado, para aumentar el contenido de proteína. Y a partir de este proceso, desarrollar un proceso industrial de fermentación para grandes volúmenes, que permita obtener productos con alto contenido proteínico.

La presente propuesta está basada en los resultados experimentales obtenidos por un método de microfermentación, sencillo y de bajo costo, que ha mostrado su eficacia para incrementar, hasta tres o cuatro veces, el contenido original proteínico de homogeneizados de nopal (Figura 1).

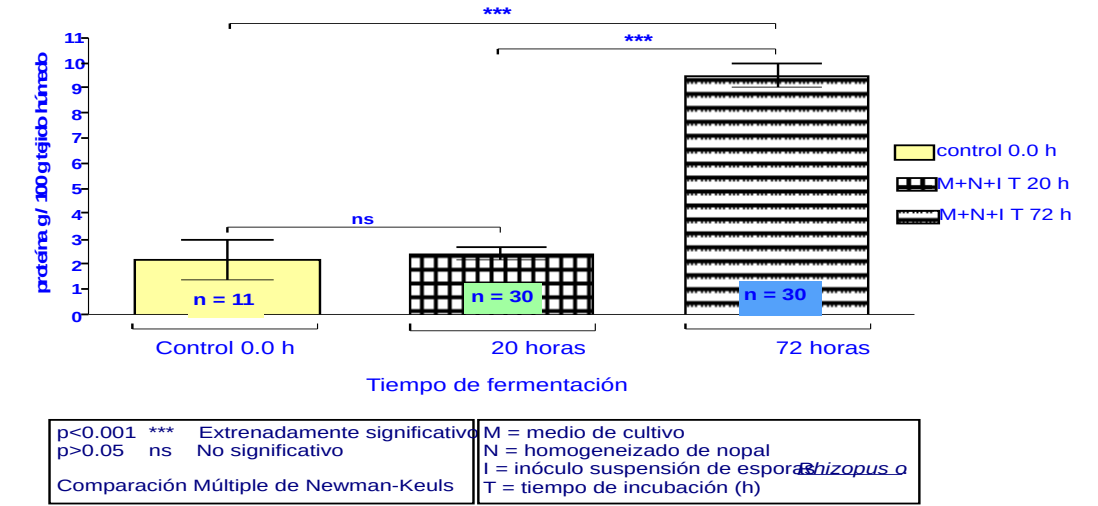


Figura 1. Se muestra el aumento, estadísticamente significativo, del contenido de proteína a las 72 horas de fermentación en el sistema de nopal (*Opuntia ficus indica*) homogeneizado e incubado con el microorganismo *Rhizopus oligosporus* (CDBB-311).

Este proceso experimental ya se ha sometido a prueba y ha mostrado su eficacia para mejorar el valor nutrimental del nopal, este se describe brevemente a continuación: Se parte de muestras de nopal (*Opuntia ficus indica*), variedades Atlixco y Valtierra 1.- El nopal es fragmentado en cubos y, para disminuir gérmenes contaminantes sin desnaturalizar la proteína original, fue sometido a un tratamiento con hipoclorito de sodio (cloro comercial), yodo (Isodine), o plata coloidal (Biopure) (1 gota/100ml de agua, 15 minutos). 2.- El nopal fue posteriormente homogeneizado en un volumen de medio de fermentación (Polytron, Brinkman Inst. Mod. Kinematica GmbH). 3.- Este homogeneizado se lleva al volumen final (1:5, p/v), con medio de fermentación (sulfato de amonio, fosfato de potasio, cloruro de calcio, sulfato ferroso, sulfato de manganeso, sulfato de zinc). 4.- Se agrega el microorganismo (inóculo) responsable del proceso de fermentación (500 ul de concentrado de micelio de *Rhizopus oligosporus* (CDBB-311) o de *Sacharomyces cerevisiae* (CDBB-1023), crecidos a alta densidad en caja de Petri de 10 cm<sup>2</sup> (Cinvestav-IPN). 5.- Todos los componentes del medio de fermentación in-vitro se usaron en condiciones estériles (Figura 2A). 6.- Se determinó el contenido de proteína total en los controles (micrométodo de Lowry) y se comparó con el de las muestras sometidas al proceso de

microfermentación. 7.- Se probaron dos temperaturas (ambiente 25 °C y a 37°C) para determinar la mejor temperatura para la fermentación (incubadora orbital, Eberbach 6250). 8.- La fermentación se llevó a cabo a temperatura óptima de 25°C y se tomaron alícuotas, a diferentes tiempos (6, 12, 24, 36, 48 y 72 h), para determinar su contenido de proteína total (Lowry). 9.- Se registró también el cambio en el pH de la solución de fermentación a los diferentes tiempos de muestreo. 10.- El producto de la fermentación fue secado (a peso constante) en un horno eléctrico a 60°C (BG, Aparatos de Laboratorio S.A.).

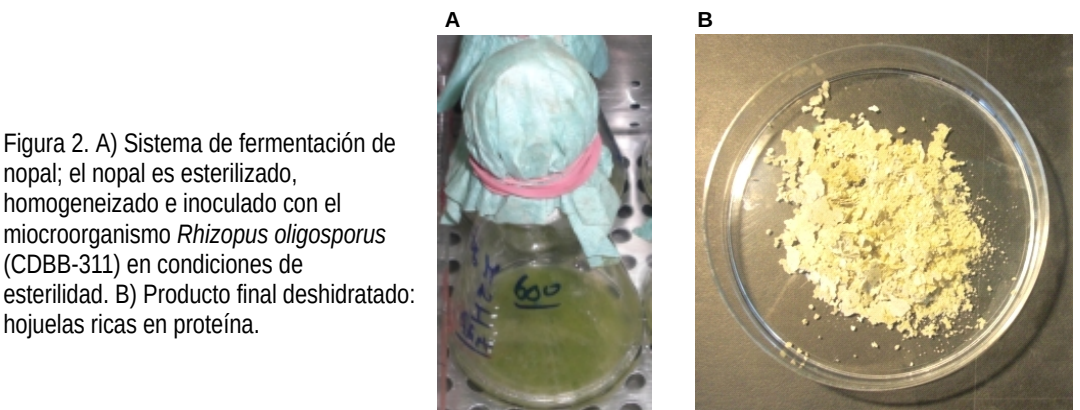


Figura 2. A) Sistema de fermentación de nopal; el nopal es esterilizado, homogeneizado e inoculado con el microorganismo *Rhizopus oligosporus* (CDBB-311) en condiciones de esterilidad. B) Producto final deshidratado: hojuelas ricas en proteína.

Los resultados indicaron que Mediante pruebas de crecimiento microbiano en medio nutritivo, se determinó que el tratamiento con hipoclorito de sodio fue el más eficiente para la eliminación de la carga microbiana. Los mejores rendimientos de proteína se obtuvieron a las 72 horas de fermentación. El pH inicial de la solución de fermentación, sin nopal, fue de 5.0, y en el proceso de fermentación, fluctuó de pH 7.2 a pH 7.5. Con *Sacharomyces cerevisiae* (CDBB-1023) no se observó aumento significativo del contenido proteínico; en contraste, con *Rhizopus oligosporus* (CDBB-311) sí se obtuvieron aumentos significativos del contenido de proteína, a los diferentes tiempos de fermentación (Figura 1). Este procedimiento experimental demostró su utilidad para incrementar el contenido proteínico del nopal, del que se ha obtenido polvo y hojuelas enriquecidos en proteínas (Figura 2A y B), con un rendimiento de 25-30 g de producto seco por litro de mezcla de fermentación. Las características sensoriales del producto obtenido en forma de polvo u hojuelas son de un sabor ácido agradable, ligeramente dulce y no se percibe ni olor ni sabor que recuerde al del nopal, se hidratan fácilmente en la boca y son muy blandas. Estas características permitirán que se ofrezca el nopal enriquecido en proteínas, como golosinas para el consumo humano o, que se adapte para el consumo pecuario, en forma de polvo o pellets. Hasta ahora, en la literatura aparecen los trabajos de Aranda y colaboradores (Aranda et al., 2009) en los que obtiene, con un proceso de macrofermentación (biodigestor de 100 litros), un incremento del contenido proteínico, pero no proponen la transformación a algún producto de consumo humano, solamente su posible uso como forraje. El uso del nopal o derivados, como forraje no es nuevo y hay diversos reportes y estudios al respecto (López y cols. 2003, Aranda y cols. 2009, Cordeiro y cols. 2003, Reveles y cols. 2009). Por otra parte, se reportan otros alimentos como la yuca (Cassava), en los que se busca principalmente la obtención productos de fermentación con una mayor cantidad de carbohidratos (Garg y Doelle 1989, Sukara y Doelle 1988, Reade y Gregory 1975). A partir de estos resultados, se propone aplicar dicho procedimiento a sistemas biotecnológicos de producción industrializada de derivados de nopal con un alto contenido proteínico (hasta 9 %), con uso potencial en humanos, con la meta de sustituir los derivados del nopal hasta ahora empleados, que son de bajo valor nutricional.

**Escalamiento a nivel de Planta piloto:** los ensayos de microfermentación con *Rhizopus oligosporus* han mostrado el incremento de proteína de 40% en el nopal, y de hasta un incremento de 366% en los productos enriquecidos. Se cuenta ya con el proceso de producción a mayor escala del inóculo (*Rhizopus oligosporus*, CDBB-311), el cual se puede emplear para el sistema de macrofermentación. La propuesta es instalar una planta piloto, previo análisis de mercado, para el enriquecimiento proteínico del nopal (*Opuntia* spp.), mediante el procesamiento industrial a gran escala, con biotecnología que permita manejar mayores volúmenes de fermentación. A partir del 3er año, una vez que se desarrolle la infraestructura de la planta industrial, se estarían produciendo a nivel comercial, alimentos enriquecidos en proteína, con características de palatabilidad, presentación y bajo costo, para consumo humano y pecuario. Ésta planta de producción deberá contar con un coordinador técnico (biotecnólogo), quien será el responsable del sistema de procesamiento para asegurar la operación de la maquinaria y el mantenimiento y producción de los inóculos, la trituración de la materia prima, su homogeneización, los procesos de fermentación, el secado del producto fermentado y la preparación de los productos finales como polvo, pellets, pastillas, galletas, etcétera, así como de su empaclado. También deberá asegurarse un buen control de calidad y de producción. Las fuentes de financiamiento para instalar y operar esta planta piloto, podrán ser oficiales y/o privadas que estén relacionadas con el desarrollo sustentable y socioeconómico. En la tabla 1 se muestra la inversión aproximada requerida. Este tipo de planta industrial, podrá instalarse en zonas nopaleras del país como: Hidalgo, San Luis Potosí, Guanajuato, Querétaro, y otros estados del país.

| Tabla 1 Inversión aproximada requerida para la planta piloto |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |               |
|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Terreno                                                      | 2000 metros cuadrados de terreno para estacionamiento, nave y oficinas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 2,000,000.00  |
| Obra civil                                                   | 500 m cuadrados de planta y 300 m cuadrados de oficinas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 4,900,000.00  |
| Maquinaria                                                   | Sistema de trituración y molido, Maquina desespinaladora, Fermentadores o biodigestores, Transportador , Desorilladora, Pelletizadora, Sistema de secado y pulverizador, empacadora.                                                                                                                                                                                                                    | 3,500,000.00  |
| Equipo de laboratorio                                        | Balanza granataria digital, Agitadores magnéticos, Autoclave 12 lts., Potenciómetro, Incubador metabólico, Horno de secado 100-350°C, Campana de extracción, Aire acondicionado, Refrigerador 8.5 pies Congelador , Licuadora ultra turrax 5lts, Centrífuga refrigerada 4 x 8 lts de 0-12000 rpm, Lote de accesorios de laboratorio (cristalería, etc.), Cuarto frío de 1a 3 C° de 1.75 x 1.45 x 2.54 m | 481,200.00    |
| Instalación de la planta                                     | Instalación maquinaria y laboratorio, renta de nave, mobiliario para oficinas, equipo de computo , transporte, teléfono , energía eléctrica, agua, imprevistos.                                                                                                                                                                                                                                         | 3,994,000.00  |
| Personal                                                     | Director general , Administrador general , Secretaria general , Secretaria bilingüe , Técnico biotecnólogo , Técnicos generales para operación, Técnico de mantenimiento general , Chofer , Vigilante , Contador externo, Consultor externo en imagen y publicidad , Consultor externo biotecnólogo.                                                                                                    | 2,448,000.00  |
| Total                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 17,323,200.00 |

## Impacto socioeconómico

El nopal transformado en un producto palatable, con alto valor proteínico, podrá ser consumido a bajo costo. En forma de golosinas podrá presentarse en las escuelas para consumo y beneficio nutrimental de los niños y jóvenes, con el beneficio de un contenido bajo de carbohidratos y grasas y alto en proteínas, sin aumentar el riesgo de obesidad y con la ventaja de desplazar a los alimentos “chatarra”. Asimismo, en otras presentaciones, podrá ser utilizado como complemento nutricional para adultos. Por otra parte, en forma de polvo o pellets, podrá emplearse como alimento de alto valor nutricional para el ganado bovino, caprino, ovino y equino. Una planta piloto de estas características, seguramente tendrá un impacto socioeconómico regional y en los hábitos alimenticios de la población en donde se instale, ya que además de generar fuentes de empleo y una mejoría económica en zonas nopaleras del país como Hidalgo, San Luis Potosí, Guanajuato, Querétaro, y otros estados del país, se estará aprovechando un recurso alimenticio enriquecido, el cual coadyuvará en la atención nutricional de los escolares, al ofrecer productos atractivos al gusto y con mayor valor nutricional.

**Contacto:** <http://pcti.mx>, [hnolasco2008@hotmail.com](mailto:hnolasco2008@hotmail.com)