



TÍTULO DE PATENTE No. 387136

Titular(es): UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO

Domicilio: Lascuráin de Retana No. 5, Colonia Centro, 36000, Guanajuato, Guanajuato, MÉXICO

Denominación: PROCESO DE OBTENCIÓN DE FIBRA DURA Y CUTÍCULA DE NOPAL.

Clasificación: **CIP:** A23L33/10; A23L29/00; C08B15/10; C08L91/06; D21C5/00
CPC: A23L33/10; A23L29/00; C08B15/10; C08L91/06; D21C5/005

Inventor(es): LORENA VARGAS RODRÍGUEZ; MARÍA ISABEL GARCÍA VIEYRA; GABRIELA ARROYO FIGUEROA; JOSÉ JUAN SERRATO LÓPEZ; JOSÉ MAURICIO MEDRANO FUJARTE; VALDO LUIS HERNÁNDEZ FRANCISCO

SOLICITUD

Número:	Fecha de Presentación:	Hora:
MX/a/2017/013218	13 de Octubre de 2017	11:25

Vigencia: Veinte años

Fecha de Vencimiento: 13 de octubre de 2037

Fecha de Expedición: 30 de septiembre de 2021

La patente de referencia se otorga con fundamento en los artículos 1º, 2º fracción V, 6º fracción III, y 59 de la Ley de la Propiedad Industrial.

De conformidad con el artículo 23 de la Ley de la Propiedad Industrial, la presente patente tiene una vigencia de veinte años improrrogables, contada a partir de la fecha de presentación de la solicitud y estará sujeta al pago de la tarifa para mantener vigentes los derechos.

Quien suscribe el presente título lo hace con fundamento en lo dispuesto por los artículos 5º fracción I, 9, 10 y 119 de la Ley Federal de Protección a la Propiedad Industrial; artículos 1º, 3º fracción V inciso a), sub inciso ii), 4º y 12º fracciones I y III del Reglamento del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial; artículos 1º, 3º, 4º, 5º fracción V inciso a), sub inciso ii), 16 fracciones I y III y 30 del Estatuto Orgánico del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial; 1º, 3º y 5º fracción I y antepenúltimo párrafo del Acuerdo Delegatorio de Facultades del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial.

El presente documento electrónico ha sido firmado mediante el uso de la firma electrónica avanzada por el servidor público competente, amparada por un certificado digital vigente a la fecha de su elaboración, y es válido de conformidad con lo dispuesto en los artículos 7 y 9 fracción I de la Ley de Firma Electrónica Avanzada y artículo 12 de su Reglamento. Su integridad y autoría, se podrá comprobar en www.gob.mx/imp.

Asimismo, se emitió conforme lo previsto por los artículos 1º fracción III; 2º fracción VI; 37, 38 y 39 del Acuerdo por el que se establecen lineamientos en materia de Servicios Electrónicos del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial.

SUBDIRECTORA DIVISIONAL DE EXAMEN DE FONDO DE PATENTES ÁREAS BIOTECNOLÓGICA, FARMACÉUTICA Y QUÍMICA

EMELIA HERNÁNDEZ PRIEGO



Cadena Original:
EMELIA HERNANDEZ PRIEGO|00001000000506482277|SERVICIO DE ADMINISTRACION
TRIBUTARIA|56||MX/2021/97906|MX/a/2017/013218|Título de patente normal|1223|GAGV|Pág(s)
1|kMcWE8la1F/9Lw1rCpmEwjU5U6Y=

Sello Digital:
Qptz0vmtngf+vfxX2/wmZuys+8KhHto1HkZkSePKQV2skzoOI0cq94tc4VXUB//uKIQs6M1V+k+SyltdtIEFVcs9EB2v
WTzM9WpR3w+Gzl7YoNdW0uaZKc0wLwVyHrLCsOMV9onkALy9EQC6Zn+sJEEINJ9gvBKLvnyNLGxjffAEb3kpcsOeEo
MLFmmjru8KawE2m+oUUGr9nSq19VwO6Fepd9WuGguaYf2YJQ1uyZIN/Ej/ys+W2ROhysVfpIWHgBSikwKQ3ksSnmZu
+S8GDUHWolXYTILdbrenzuDVDzBiU53AobJKj7OX3tbloRj/o1qNFM+BiizdFpoB9zgeSQ==



MX/2021/97906

PROCESO DE OBTENCIÓN DE FIBRA DURA Y CUTÍCULA DE NOPAL

OBJETO DE LA INVENCION

- 5 La obtención de la fibra dura, fibra estructural o fibra vascular de cladodios (pencas o raquetas) de nopal, así como la cutícula de los mismos son dos componentes que no han sido documentados para aplicaciones de amplia diversidad en la industria. Si bien, la fibra (de nopal) es un material alternativo como fibra dietaría en su presentación de harina; sin embargo, bajo esa leyenda absoluta de “fibra de nopal” suele presentarse a la harina de nopal
- 10 entero, y no al producto enteramente de fibra. Actualmente, se utilizan en la industria de alimentos fibras como la de cascarilla de trigo, o incluso la de bambú. Respecto al nopal, figura bajo el término de “fibra de nopal” la harina de nopal completo deshidratado; pero no existe la correspondiente, que esté compuesta solo por los tejidos vasculares (fibra dietaría insoluble) del cladodio. Otro campo por señalar para el aprovechamiento de la fibra dura de
- 15 nopal es como “compósito” en los materiales de refuerzo (sobre matrices poliméricas o arcillas) para diferentes estructuras, material de absorción para contaminantes químicos en tratamientos de aguas residuales de las diferentes industrias, material de absorción en diversos usos (toallas en limpieza, toallas sanitarias, pañales, relleno de filtros de aceite como los automotrices), son algunos ejemplos por mencionar.
- 20 La cutícula de cladodio de nopal es un material que presuntamente podría cambiar el rumbo de las biopelículas o recubrimientos comestibles. Hasta hoy, se investigan materiales poliméricos como matriz en la formulación de las biopelículas y recubrimientos; quitosano, ha sido ampliamente utilizado, a saber de otros de origen sintético. El nopal en sus cladodios presenta una película o cutícula que no se encuentra reportada en la literatura científica, ni
- 25 en usos industriales. Esta cutícula permite al cactus reducir la evapotranspiración (deshidratación) de sus tejidos acuíferos debido a las condiciones climáticas (temperaturas elevadas) en las que se desarrolla. Se ha atribuido, la funcionalidad de una barrera para el ataque de las plagas en general. Así, este producto (cutícula), puede ser aprovechado como hoja inteligente en área de salud (por esa capacidad de barrera al ataque de microorganismos)

como en control de infecciones o bien, una lámina sobre la que se integren otras sustancias como sazoadores en área de alimentos, por ejemplo; o bien, se pulverice y resuspenda en fase aceite o cualquier mezcla de solventes como base de formulación a cuanto permita la creatividad en los usos. Otros ejemplos de aplicaciones concretas a ponderar comprenden, mascarillas en cosmética, compósitos en salud, recubrimientos directos en vegetales o biopelículas como bioempaques para prolongar la vida de anaquel, material para remoción de contaminantes, hasta membranas para usos diversos en laboratorios de biología y relacionados.

10 ANTECEDENTES

Hacia fuera del clorénquima de las hojas de los cactus está la epidermis, la cual generalmente es una capa monocelular y está cubierta por la cutícula impermeabilizante, usualmente tiene un espesor de 2-10 micras. La cutícula es la capa protectora que se encuentra en la superficie más externa de las plantas y que interacciona con el ambiente, está constituida principalmente de dos tipos de polímeros lipofílicos, cutina y ceras cuticulares (Tafolla *et al.* 2013. Composición, fisiología y biosíntesis de la cutícula en plantas / Rev. Fitotéc. Mex. Vol 36(1): 3-12). La cutina, es un complejo poliéster con ceras asociadas de naturaleza hidrofóbica y muy escaza reactividad (Riederer, 2006; Domínguez *et al.*, 2011 en Tafolla *et al.*, 2013), clasificadas según su ubicación en ceras epicuticulares e intracuticulares (Tafolia *et al.* 2013, Jetter y Schâffer, 2001. Chemical composition of the *Pronus laucerasus* leaf surface. Dynamic changes of the epicuticular wax film during leaf development / Plant physiol. Vol. 126: 1725-1737).

No existen metodologías reportadas para la obtención de las cutículas de nopal ni alguna otra con fines de producto para aplicaciones tecnológicas o artesanales. En este aspecto de obtención, y por buscar un acercamiento en el marco de los antecedentes, Tafolla *et al.* (2013), cita a Bargel *et al.* (2006), Samuels *et al.* (2008) y Domínguez *et al.* (2011) para comentar sobre la separación con solventes orgánicos de las ceras intracuticulares (intercaladas dentro del polímero de la cutina), con una composición química diferente de las ceras epicuticulares...”. De la misma forma, Jetter y Schâffer (2001) realizaron la extracción

de componentes cerosos en cutículas de *P. laucerasus* con solventes orgánicos, aunque no precisaron a qué fracción correspondió el producto (ceras epi o intracuticulares). Derivado de todo lo anterior, se observa que solo refieren a extracción de algún o algunos componentes, no así de la lámina completa de cutícula (sin destruir).

- 5 En tanto, la fibra dura de nopal, como para la cutícula, membrana u “hoja (por la forma de lámina que se obtiene)” de nopal, quizá los antecedentes más cercanos, sean los relativos a la obtención de solo la fibra de agave. Menor aún es el antecedente de la cutícula del nopal. Adicionalmente, se destaca que el “proceso de obtención de la presente propuesta” es básicamente el mismo para los dos productos.

10

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

- Figura 1. Vista frontal de cutículas de penca de nopal (1). Dos láminas de cutícula obtenidas por cada penca de nopal (2). Orificios en las cutículas de nopal (3). Cara externa de la lámina de cutícula (4). Cara interna de la lámina de cutícula.

15 Los orificios aparecen como lesiones en la lámina cuticular y son debidos a las interrupciones de cutícula por la presencia de espinas y glóquidas en la penca del nopal.

- Existen dos caras en las cutículas, que presentan composición diferente, se distingue la capa externa que en la penca de nopal hace contacto con la atmósfera y es más cerosa, en tanto la interna presenta residuos de tejidos clorenquimáticos y su naturaleza es más hidrofílica.

- Figura 2. Representación de la fibra dura de penca de nopal. Sector repetitivo de forma geométrica mostrando todas las ramificaciones interiores (5). Sectores de forma geométrica sin representar las ramificaciones internas (6).

- 25 Por cada penca de nopal se obtiene 2 elementos reticulares, simulando abanico como el presentado en la Figura 1.

Las fibras se concentran como haces paralelos y son más gruesas en la base de la penca de nopal en comparación con el ápice. Los sectores repetitivos a través de toda la malla reticular, son elementos delimitados con fibra gruesa y a su interior aparecen fibrillas de menor

diámetro. Estos sectores algunas veces son formas trapezoides, pentágonos o hexágonos y se distribuyen adyacentemente.

Figura 3A. Cutícula húmeda y entera de cladodio de nopal recién obtenida. Se observan escasos residuos de pulpa (manchas densas) adheridos.

5

Figura 3B. Cutícula húmeda de cladodio de nopal con ligero dobles. Mostrando la flexibilidad y aspecto de cara interna y externa.

Figura 4A. Retícula (“abanico”) seca de la fibra dura de cladodio de nopal. Medianamente plegada o compactada por efecto del secado; no obstante, se reconoce morfología conservada.

10

Figura 4B. Fibra dura de cladodio de nopal luego del secado. Mostrando diferentes grados de conservación de estructura de abanico.

15

La mayor conservación de la estructura de retícula o malla de la fibra dura, corresponde a un proceso de lavado más detallado (tardado), que implica lavar sobre una superficie plástica respetando sea paralela la forma de deslizar, regulando la fuerza para evitar rupturas indeseables y en abundancia de agua. En tanto el segundo caso (menor conservación de la estructura), se realizó con mayor fuerza frotado incluso como un textil en manos, de tal forma que se reduce el tiempo. La aplicación futura de la fibra dura indicará cuál limpieza brindar, si la laboriosa con estructura intacta o rápida pero descompuesta en su retícula.

20

Figura 5A. Fibra dura de cladodio de nopal *Opuntia ficus indica* Var. Atlixco. Vista en aumento del arreglo fibrilar.

25

Figura 5B. Retículas de fibra dura de cladodio de nopal sucediendo a pares por cladodio.

30

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

El proceso para obtener la fibra dura y cutícula de cladodios (pencas o raquetas) de nopales comprendió las siguientes etapas:

5

a) Selección de cladodios de nopal, lavado y secado. Cualquier especie de nopal y/o variedad puede ser utilizada. Sin embargo, las especies forrajeras, tuneras o de cultivo de grana cochinilla con características de raqueta ancha y grande y aún mejor de escasas espinas (para su facilidad de manejo), son las recomendadas por mejorar el rendimiento de ambos productos. Tal es el caso de la especie *Opuntia ficus indica* de la variedad Atlixco. La edad es otro factor importante a considerar en los cladodios de nopal para la obtención de fibra dura y cutícula. Una edad menor de un año, implica que los tejidos son indiferenciados, y que la talla no es la adulta, por tanto, repercutirá negativamente en el rendimiento de los productos. Así, cladodios con edad superior a 1 año rendirán buena fibra en peso por 100 gramos de cladodio y con un mayor espesor de sus haces o filamentos constitutivos. Por otra parte, la cutícula alcanza en 1 año su máxima superficie para la mejor extracción. Para la limpieza de los cladodios seleccionados, son lavados con agua potable frotándose con un cepillo. Posteriormente, se utiliza papel absorbente para realizar el secado.

20 b) Acondicionamiento de los cladodios de nopal. El retiro de la pulpa (tejido parenquimático) de los cladodios, fue previo a la fermentación anaerobia del material. Esto con la finalidad de reducir el tiempo del proceso en esa etapa; además, de la reducción de volúmenes y peso para el mejor manejo del material y conllevando también ahorro económico y de traslados. Se procedió a cortar con cuchillo de uso doméstico al centro del espesor de cada cladodio lavado y seco, en forma longitudinal, obteniendo así dos fracciones (cada una con una cara externa). Al interior, la pulpa es retirada manualmente raspando con el mismo cuchillo y una espátula metálica (del área de restauración y pisos) hasta tocar la fibra en cada fracción.

25 c) Fermentación anaerobia de las fracciones de cladodio de nopal. Las fracciones (2 por cada cladodio) acondicionadas en el paso anterior, son colocadas en forma horizontal en un

30

recipiente plástico rectangular de capacidad 60 litros. Se extendieron, quedando encimadas entre 24 y 30 fracciones (provenientes de entre 12 y 15 cladodios), se cubrieron totalmente con nejayote recuperado del mismo día del proceso de nixtamalización del maíz, hasta 10 cm abajo del volumen máximo del contenedor.

- 5 El nejayote, es un líquido drenado luego de la cocción y reposo (de 12 a 15 hs) del grano de maíz blanco, en una solución saturada de hidróxido de calcio proveniente de la presentación comercial de cal común (lo común es una relación de 50 g en 10 litros de agua). El nejayote además de ser fuertemente alcalino con valor de pH reportado de 11.39 ± 0.49 aunque puede variar según la concentración de cal utilizada durante la nixtamalización (Valderrama *et al.*
- 10 2012. Constant pressure filtration of lime water (nejayote) used to cook kernels in maize processing / Journal of Food Engineering 110: 478–486) debido al uso excesivo de la cal, contiene materia orgánica en solución y suspensión derivadas de la cocción del maíz, como fibras de celulosa y hemicelulosa de las paredes celulares del pericarpio de los granos de maíz; el almidón es uno de sus principales componentes químicos identificado. La presencia
- 15 de clusters de carbonatación del calcio (CaCO_3), fibras y gránulos de almidón han sido identificada por microscopia electrónica de barrido (MEB) (Valderrama *et al.*, 2012). Valderrama *et al.* (2012), en la tabla 2 de su reporte detallan la caracterización de composición química del nejayote (cenizas, grasas, proteína cruda, carbohidratos, fibra, calcio, demanda química y bioquímica de oxígeno, así algunas determinaciones físicas tales
- 20 como viscosidad, turbidez, conductividad, densidad, entre otros). Otros autores, de igual forma presentan esta caracterización, e incluso con énfasis en muestras fraccionadas (retenida y filtrada) luego de ultrafiltrar el nejayote proveniente de seis molinos de grano de maíz, por ejemplo a) Castro *et al.*, 2015. Recuperación de carbohidratos de las aguas residuales de la nixtamalización (nejayote) por ultrafiltración. Revista Mexicana
- 25 de Ingeniería Química Vol. 14, No. 3: 735-744; y b) Ramírez *et al.* (Estudio del nejayote como medio de crecimiento de probióticos y producción bacteriocinas /Revista Mexicana de Ingeniería Química Vol. 12, No. 3 (2013) 463-471), quienes caracterizaron el nejayote también de diferentes molinos, destacando contenido de azúcares reductores, proteína y carbohidratos totales en una investigación en la que además se alcanzó la identificación de
- 30 bacteriocinas que inhibieron bacteria gram (+) y bacteria gram (-), en la tabla 3 de su

publicación, hacen mención de polifenoles, carbohidratos, sólidos totales, calcio, fibra, materia orgánica, entre otros. Estos mismos autores citan a Martínez *et al.* (2001) que caracterizaron los azúcares presentes en el nejayote a saber, arabinosa, xilosa, galactosa y ácido glucurónico y su concentración.

- 5 En el contenido microbiológico del nejayote se han identificado bacterias de cepas atípicas de la especie *Bacillus megaterium* capaces de hidrolizar almidón y realizar fermentación de azúcares con producción de ácido (situación que se confirma con el descenso del pH).

La adición del nejayote para asistir la fermentación de la pulpa de pencas de nopal, no requiere acondicionamiento y se vierte frío o caliente (18-45 °C). El valor de pH en esta etapa
10 estará entre 11.0 y 12.0. Se colocó la tapa, cerrando herméticamente el recipiente. Así permaneció el material en oscuridad, sin gasto económico por condición de temperatura específica (debido a que ocurre a temperatura ambiente de 18-30 °C), sin abrir, durante un lapso de tiempo de 7-8 días, en materiales menos fibrosos (por ejemplo las múltiples variedades de la *Opuntia ficus indica*) resulta suficiente; o bien 10-12 días, permite facilitar
15 el posterior trabajo de materiales con mayor contenido de fibra dura y de mayor calibre como es el caso de *Opuntia spinulifera*, *Opuntia oligacantha*, *Opuntia streptacantha* entre muchas otras, como especies más robustas y/o silvestres. En este tiempo de reposo, sucede la hidrólisis alcalina de la materia orgánica (pulpa). El nejayote en México, es un residuo que se considera altamente contaminante debido a: su alta demanda biológica de oxígeno (2692-
20 7875 mg O₂/L), alta demanda química de oxígeno (10200-22000 mg O₂/L) y el ya comentado pH básico (10.5-11.2) (Ramírez *et al.*, 2013), el cual es desechado sobre el asfalto de las calles a pie de puerta de los molinos de las tortillerías, o en las coladeras cercanas, toda vez que escurren el maíz para molerlo y realizar las tortillas, no tiene un destino que genere ganancia económica.

- 25 Otras experiencias fueron, utilizando nejayote con 2.6 °Bx (sólidos suspendidos) y pH inicial de 10.6 (valor más bajo al del ejemplo) la fermentación del material vegetal de misma especie y calidad tuvo mayor retardo para iniciar el desfibrado, se requirió un lapso de 15 días. También, se observa que reutilizar el material residual del nejayote luego de la fermentación, ayudó a reducir el tiempo de esta etapa incluso desde 5 y hasta 7 días. Es decir, un asunto de
30 activación de los microorganismos presentes en el nejayote ocurre con la primera

fermentación, lo que los deja en mejor condición para degradar la pulpa del siguiente material a procesar.

d) Desfibrado y retiro de cutícula. Al término del período de fermentación, se procede a retirar del líquido de fermentado de las fracciones de cladodio; se inicia el trabajo con el desprendimiento manualmente de la red fibrilar de la cutícula. Básicamente, la pulpa está en estado de putrefacción reblandecida y débilmente adherida a la fibra. Las fibras a forma de retículas (2 por cada cladodio, una en cada fracción) son lavadas con abundancia de agua, es conveniente el apoyo de chorro de agua mientras se frota a mano, sobre alguna superficie.

5

10 En trabajos con gran volumen, una lavadora de uso doméstico con impulsor y abundancia de agua, agiliza el trabajo; pero, además, será lo más conveniente si se desea no estropear la malla natural de la fibra. Por otra parte, las cutículas separadas previamente de la fibra dura, son lavadas frotándolas con abundancia de agua dentro de un recipiente, frotándose para eliminar la pulpa (lingnina, celulosa y hemicelulosa) residual adherida. Se extiende cada una

15 de ellas en una superficie, se frota deslizando con la mano sobre la superficie del lavadero o tabla, la cara interior se reconoce porque es la que tiene la pulpa adherida. Se vierte agua cuanto baste para avanzar el retiro de la pulpa. La cara externa, es la que contiene residuos de glóquidas en las areolas (localizaciones de espinas), estos materiales son de fácil desprendimiento si se raspa, se puede hacer manual o bien, ayudarse con una espátula

20 mecánica de material plástico.

e) Lavado de fibra dura y cutícula. Las fibras duras separadas de la cutícula en el paso anterior se lavan con una solución de jabón comercial en polvo de uso doméstico, a una concentración del 2% (p/v) o bien, se desinfectan sumergiéndose en una solución de hipoclorito de sodio al

25 1 % durante 1-2 minutos; en ambos casos, se procede a enjuagar con abundancia de agua. Esta operación sucedida por el secado (preferentemente al aire libre) ayudarán a eliminar algún mal olor residual provocado por la fermentación.

Las cutículas, pueden ser de igual forma tratadas con solución jabonosa, para el mismo propósito de eliminar olores no deseados.

f) Secado de fibra dura y cutícula. Posterior al proceso de lavado para los productos, se procede a secar, las fibras duras del nopal a la intemperie a 25 °C durante 6-8 horas, o bien a 40 °C durante 2 horas en una estufa con tiro forzado o en un interés por acelerar a 75 °C durante 45 minutos. Las cutículas también pueden dejarse extendidas en la intemperie en sol
5 (35 °C un lapso de 4-6 hrs) o sombra (25 °C de 8-10 hs). Las fibras duras como las cutículas toleran ciclos de 1 minuto y medio en el horno de microondas a 100 % de potencia, hasta secar. Así mismo, las cutículas resisten el calor de estufa u horno convencional pudiendo secarse en un rango de temperatura entre 40 y 45 °C en un tiempo de 1 hora.

Las cutículas pueden ser conservadas incluso sumergidas en agua potable en refrigeración
10 (6-12 °C), hasta su uso. Una aplicación directa, por ejemplo, en preparación de alimentos, para cocinar pollo asado en la sartén, se envuelve la pieza de pollo con la cutícula y se coloca al fuego en sartén de teflón (se puede adicionar condimentos a la hoja de nopal-cutícula), un tiempo estimado de 8 minutos, se voltea la pieza dejando otros 8 minutos para alcanzar la cocción completa. En este caso las cutículas húmedas, son maleables, flexibles incluso para
15 hacerse rollito sobre sí mismas y ocupar menos espacio. En tanto, si se secan cuidar que su almacenamiento no cause ruptura, debido a que son quebradizas, una cualidad es que pueden luego rehidratarse introduciéndose en un recipiente con agua a temperatura ambiente, unos ¾ de hora son suficientes para volver a ser flexibles. Así reversiblemente se puede pasar de flexibles a quebradizas y viceversa, se sugiere no más de dos veces.

20 Harinas de fibra dura y de cutícula (membrana, hoja o lámina) de penca de nopal. En su estado seco, las fibras duras se pulverizan para su destino final (aditivos en industria de alimentos, compósitos, repuestos en pañales, matrices en digestores, materiales para remoción de contaminantes, entre otros). Similar para las cutículas de nopal, se pueden pulverizar y tamizar para las diferentes aplicaciones (aditivo de industria de alimentos, matriz
25 en formulaciones de un nuevo producto biopelícula o recubrimiento en alimentos o no alimentaria, etc.), o simplemente para su conservación en envases cerrados herméticamente.

EJEMPLOS

Un lote de cladodios de nopal recolectados de tiradero o desecho de la cosecha de grana cochinilla con edad de un año para el ejemplo, fueron lavados con agua potable y frotados con un cepillo, secados con papel absorbente y cortados uno a uno (los cladodios) longitudinalmente hasta la separación de las dos caras externas. Posteriormente, se realizó el raspado de la pulpa en la cara interna de ambas mitades de cladodio. Esa pulpa representó un 12% en promedio del peso inicial del cladodio (antes de cortar). Así, el lote de materia prima tuvo un peso total de 49.100 kg, para un total de 50 pencas, que en promedio pesaron 982 g (0.982 kg) por cada 2 mitades de cladodios sin pulpa. Posteriormente, el material fue sumergido en nejayote recuperado de las tortillerías del proceso de nixtamalización del maíz (blanco) del mismo día. El nejayote en las tortillerías suele provenir de cocción de maíz (*Zea mays* L.) de la “forma maíz blanco” proveniente predominantemente de la raza Celaya y sus genotipos variantes; sin embargo, también las otras 50 razas descritas para el maíz y sus variantes criollas y mejoradas (Tabla descriptiva de razas de maíz en México. En Proyecto global de maíces en México. Consulta 26062017), comprenden calidad de grano de maíz utilizado para elaboración de tortillas (esto es textura intermedia a suave, contenido alto de proteína, retención de pericarpio en el grano cocido, retención alta de humedad en el nixtamal y en la tortilla, poca pérdida de solutos durante la cocción del grano, entre otros aspectos) (Coutiño, *et al.* 2008. Calidad de grano, tortillas y botanas de dos variedades de maíz de la raza COMITECO/Rev. Fitotec. Mex. Vol. 31(Núm. Esp. 3):9-14), lo que no descarta que el nejayote proveniente de la cocción de esos otros maíces (que además por color del grano incluyen amarillos, pintos, azules, rojos, crema, etc.) sea también apto para “el proceso en la obtención de fibra dura y cutícula de nopal”. Enfatizando, en México, son especialmente demandados los maíces de grano blanco, para la preparación de tortilla (Coutiño, *et al.* 2008).

Se accedió (con los dueños de las tortillerías) a información relativa de la producción del nejayote. Por ejemplo, la concentración de cal en el agua para cocer el grano de maíz fue al 1% (100g de mixtocal® por 10 litros de agua); y la aplicación de una relación de 100 kg de maíz con 100 litros agua de cal para nixtamalizar en un tiempo una hora y media. El pH de

nejayote en tres colectas de 30 litros cada una, correspondió a valores de 11.1, 11.3 y 11.8 en cada caso. Una mezcla homogénea se obtuvo con los 90 litros de nejayote. Tres contenedores plásticos no transparentes rectangulares con su tapa y capacidad de 60 litros, fueron utilizados para sumergir el material en partes iguales (17 pares de caras de nopal o 17 pencas originales, para dos de ellos y uno más para 16 pares o pencas). Así, cada estrato de material estuvo a temperatura ambiente (25 °C) con 30 litros de nejayote en el contenedor tapado durante 8 días. El pH descendió al 3er día hasta 5.6 y así continuó en este valor hasta el final del proceso. Finalmente, se sacaron del nejayote una por una las caras de las pencas de nopal, separando manualmente la pulpa en descomposición (sumamente reblandecida) tanto de la fibra dura, como de la cutícula para cada cara. Durante la examinación del material, así como el retiro del mismo del contenedor se recomienda el uso de equipo de seguridad como pinzas, guantes de látex, overol, cubrebocas y gafas, no es veneno, pero como todo producto orgánico no se debe inhalar. Luego, la fibra dura fue lavada a chorro de agua para eliminar impurezas de pulpa adheridas. Se secó en un horno durante 45 minutos a 75°C para calcular el rendimiento en peso seco. De igual forma, se continuo con el lavado de la superficie interna de las cutículas por frotación, sobre una superficie plástica irregular en presencia de agua. Por último, para realizar el secado de las cutículas, estas fueron colocadas a la intemperie de forma extendida en un hilo y sujetas con un clip, un tiempo de 4 horas de exposición al sol bastó lograrlo. El rendimiento de la fibra fue de 0.32 % respecto a la materia prima (49.100kg, con cladodio de 982g en promedio sin la pulpa), esto fue un total de 160 g. Para la fibra dura, para cada par de retículas en forma de abanicos, como el mostrado en la figura 2 se obtuvo un peso promedio de 3.2g, algunas alcanzaron el valor de 4.21g, que si se refiere al cladodio completo, corresponde a un valor de 0.29 % en el lote procesado (55.0 kg de nopal intacto). Respecto al grosor de las fibras, sucedieron en un rango de 0.41 mm hasta 1.41 mm de diámetro.

La experiencia de otros lotes de cladodios de nopal, como el que conllevó peso promedio de 950g por penca completa, registró peso para el par de retículas de fibra dura de 5.36 g, con rendimiento desde la materia prima de 0.82 % y desde el cladodio completo de 0.56 %. En este caso la pulpa retirada comprendió un 25.8%, es decir mayor cantidad que el primer ejemplo (12 %) en el que el nopal tuvo aspecto muy deshidratado. Por lo que este valor

(25.8%) permite justificar el aparente significativo aumento del rendimiento. Con base a estas observaciones, se recomienda considerar al rendimiento “en peso de par de retículas de fibra dura por cladodio de nopal”; finalmente, será práctico establecerlo sobre una base fija y tangible: peso de fibra por penca de nopal (promedios), lo cual implica la calidad del vegetal en términos de humedad.

5

Con base al comentario del párrafo anterior, y para el ejemplo de lote de 49.0 kg de cladodios sin pulpa procesados, el rendimiento es referido al peso en gramos para el par de cutículas obtenidas de la misma penca. En el caso específico, el par de cutículas limpias y secas derivadas de un mismo cladodio de nopal, como las presentadas en la figura 1 presentaron un peso promedio de 8.86 g, una densidad promedio de 11 mg/cm² y un grosor en rango de 0.28-0.15 mm.

10

15

20

25

30

REIVINDICACIONES

1.- El proceso para obtener la fibra vascular y cutícula de cladodios (pencas o raquetas) de nopales que se caracteriza por las siguientes etapas:

5

a) Selección de cladodios de nopal, lavado y secado. Se utiliza cualquier especie de nopal, cuyos cladodios presenten una edad desde 1 año, se lava con agua potable frotándose con un cepillo. Posteriormente, se utiliza papel absorbente para realizar el secado;

10 b) Acondicionamiento de los cladodios de nopal. Se corta con cuchillo en el centro del espesor del cladodio lavado y seco en forma longitudinal, obteniendo así dos fracciones de cladodio de nopal (cada una con cara externa). Al interior, la pulpa es retirada manualmente raspando con el cuchillo y una espátula metálica hasta tocar la fibra en cada fracción;

15 c) Fermentación anaerobia de las fracciones de cladodio de nopal. Se colocan las fracciones acondicionadas de cladodios en el paso anterior en forma horizontal en un recipiente no traslúcido de capacidad 60 litros. Se extienden, quedando encimadas entre 24 y 30 fracciones (provenientes de entre 12 y 15 cladodios), se cubren totalmente (hasta 10 cm abajo del volumen máximo del contenedor) con nejayote y se cierra herméticamente el recipiente. El
20 nejayote recuperado del proceso de nixtamalización en las tortillerías se vierte frío o caliente (18-45 °C), el valor de pH en esta etapa estará entre 11.0 y 12.0. El recipiente no traslucido se tapa y el material permanecerá en oscuridad, sin gasto económico por condición de temperatura específica (debido a que ocurre a temperatura ambiente de 18-30 °C), sin abrir, durante un lapso de tiempo de 7-8 días resulta suficiente para materiales menos fibrosos (caso
25 de múltiples variedades de la *Opuntia ficus indica*), o bien 10-12 días, en materiales con mayor contenido de fibra vascular dura y de mayor calibre para permitir facilitar el posterior trabajo.

d) Desfibrado y retiro de cutícula. Una vez fermentadas las fracciones de cladodio, se retiran
30 del líquido de fermentado y se desprende manualmente la red fibrilar de la cutícula. Las fibras

(red fibrilar) a forma de retículas (2 por cada cladodio, una en cada fracción) son lavadas con abundancia de agua. Por otra parte, las cutículas separadas de la fibra vascular, son lavadas frotándolas con abundancia de agua para eliminar la pulpa (lingnina, celulosa y hemicelulosa) residual adherida. Se extienden las cutículas en una superficie, se frota deslizando con la mano sobre la superficie del lavadero o tabla, la cara interior (se reconoce porque es la que tiene la pulpa adherida). Se vierte agua cuanto baste para avanzar el retiro de la pulpa. La cara externa, es la que contiene residuos de glóquidas en las areolas (localizaciones de espinas), estos materiales son de fácil desprendimiento si se raspa, se puede hacer manual o bien, ayudarse con una espátula de material plástico.

10

e) Lavado de fibra vascular y cutícula. Las fibras vasculares separadas de la cutícula en el paso anterior se lavan con una solución de jabón comercial en polvo de uso doméstico, a una concentración del 2% (p/v) o bien, se desinfectan sumergiéndose en una solución de hipoclorito de sodio al 1 % durante 1-2 minutos; en ambos casos, se procede a enjuagar con abundancia de agua.

15

Las cutículas, pueden ser de igual forma tratadas con solución jabonosa, para el mismo propósito de eliminar olores no deseados.

f) Secado de fibra vascular y cutícula. Posterior al proceso de lavado para los productos, se procede a secar, las fibras vasculares del nopal a la intemperie a 25 °C durante 6-8 horas, o bien a 40 °C durante 2 horas en estufa con tiro forzado. Las cutículas también pueden dejarse extendidas en la intemperie en sol (35 °C un lapso de 4-6 hrs) o sombra (25 °C de 8-10 hs).

20

2.- El proceso para obtener la fibra vascular y cutícula de cladodios (pencas o raquetas) de nopales de acuerdo a la reivindicación 1, en donde en la Selección de cladodios de nopal, las especies de nopal recomendadas son las forrajeras, tuneras o de cultivo de grana cochinilla con características de raqueta ancha y grande y aún mejor de escasas espinas, tal es el caso de la especie de nopal *Opuntia ficus indica* y de un año de edad ya que rinden buena fibra en peso por 100 gramos de cladodio y con un mayor espesor de sus haces o filamentos constitutivos.

30

- 3.- El proceso para obtener la fibra vascular y cutícula de cladodios (pencas o raquetas) de nopales de acuerdo a la reivindicación 1, en donde en la Fermentación anaerobia de las fracciones de cladodio de nopal, el nejayote que es un líquido drenado luego de la cocción y reposo (de 12 a 15hs) del grano de maíz blanco, en una solución saturada de hidróxido de calcio proveniente de la presentación comercial de cal común. El nejayote es fuertemente alcalino con valor de pH reportado de 11.39 ± 0.49 , aunque puede variar según la concentración de cal utilizada durante la nixtamalización.
- 4.- El proceso para obtener la fibra vascular y cutícula de cladodios (pencas o raquetas) de nopales de acuerdo a la reivindicación 1, en donde en la fermentación anaerobia la adición del nejayote para asistir la fermentación de la pulpa de pencas de nopal, no requiere acondicionamiento y se vierte frío o caliente ($18-45\text{ }^{\circ}\text{C}$) y el valor de pH en esta etapa estará entre 11.0 y 12.0.
- 5.- El proceso para obtener la fibra vascular y cutícula de cladodios (pencas o raquetas) de nopales de acuerdo a la reivindicación 1, en donde en la Fermentación anaerobia el recipiente se cierra herméticamente y permanece el material en la obscuridad a una temperatura no específica (debido a que ocurre a temperatura ambiente de $18-30\text{ }^{\circ}\text{C}$), sin abrir, durante un lapso de tiempo de 7-8 días, en materiales menos fibrosos (por ejemplo las múltiples variedades de la *Opuntia ficus indica*) resulta suficiente; o bien 10-12 días para los mayormente fibrosos.
- 6.- El proceso para obtener la fibra vascular y cutícula de cladodios (pencas o raquetas) de nopales de acuerdo a la reivindicación 1, en donde en el desfibrado y retiro de cutícula de las fibras a forma de retículas (2 por cada cladodio, una en cada fracción) en trabajos con gran volumen las retículas sean lavadas en una lavadora de uso doméstico con impulsor y abundancia de agua, lo cual agiliza el trabajo.
- 7.- El proceso para obtener la fibra vascular y cutícula de cladodios (pencas o raquetas) de nopales de acuerdo a la reivindicación 1, en donde en el secado de fibra vascular y cutícula,

16

las fibras vasculares como las cutículas toleran ciclos de 1 minuto y medio en el horno de microondas a 100 % de potencia, hasta secar. Así mismo, las cutículas resisten el calor de estufa u horno convencional, pudiendo secarse en un rango de temperatura entre 40 y 45 °C durante una hora.

5

10

15

20

25

30

RESUMEN

La invención trata de un proceso para obtener dos productos del nopal que no han sido considerados en las publicaciones científicas, ni en el área industrial. El proceso implica básicamente, una separación de la pulpa de las pencas de nopal adultas, para posterior fermentación anaerobia alcalina la cual ocurre al sumergir el material vegetal en nejayote durante 7-8 días en contenedores no traslúcido con tapa. Por último, el desprendimiento manual de la fibra desde las cutículas con abundancia de agua para ayudar a la eliminación de la pulpa putrefacta adherida a ambos productos. El producto fibra vascular del nopal podrá utilizarse como fibra dietaria insoluble (aditivo en industria de alimentos o suplemento alimenticio) toda vez que se esterilice, compósito en materiales de refuerzo de diferentes áreas de construcción, repuestos en pañales, matrices en digestores, materiales para remoción de contaminantes por ejemplo en aguas residuales, o filtros industriales, entre otros). Por su parte, las cutículas de nopal, se pueden utilizar esterilizadas en la misma presentación que se obtienen de hoja (por ejemplo, como hoja sazoadora de carnes o vehículo de algún aditivo) o bien, pulverizar y tamizar para las diferentes aplicaciones en la industria de alimentos, matriz en formulaciones de un nuevo producto biopelícula o recubrimiento en alimentos o no alimentaria como en compósito de curación de heridas en área de salud, mascarillas faciales en cosmética, entre otros.

1/3

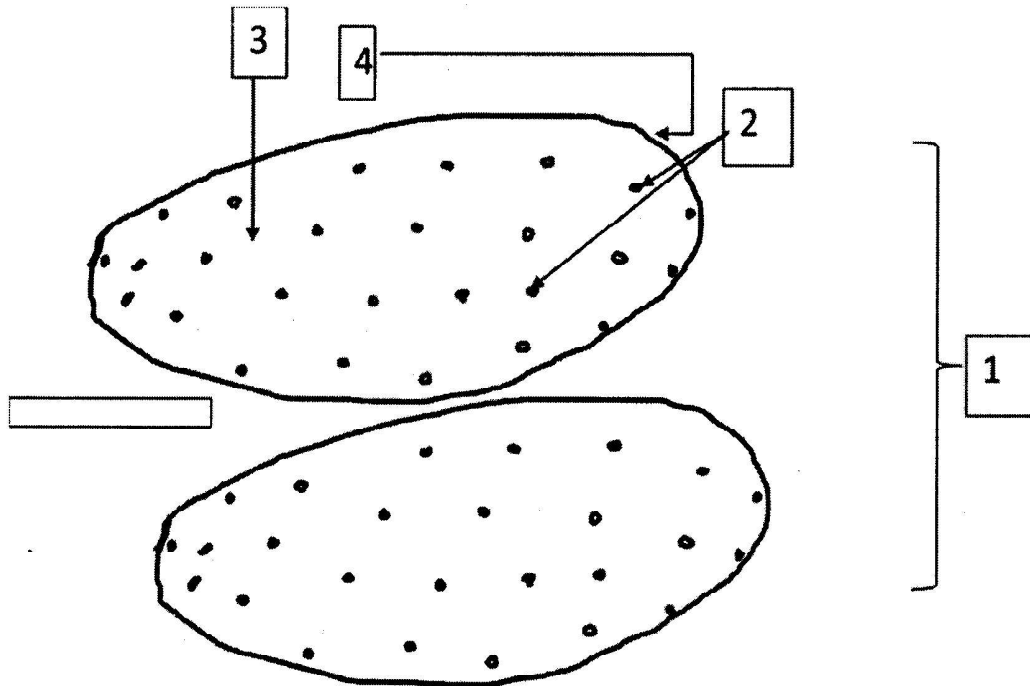


Figura 1

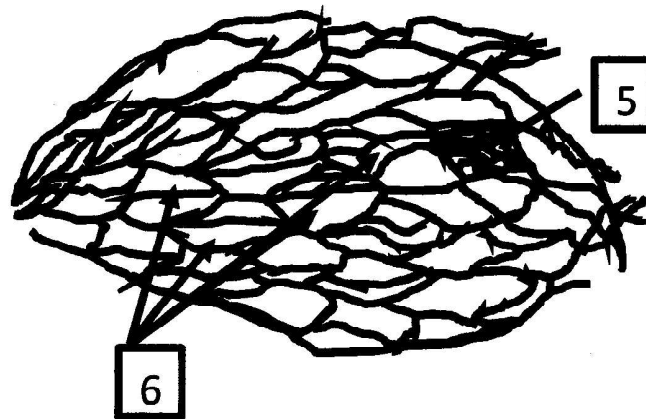


Figura 2

2/3



Figura 3



Figura 4



3/3

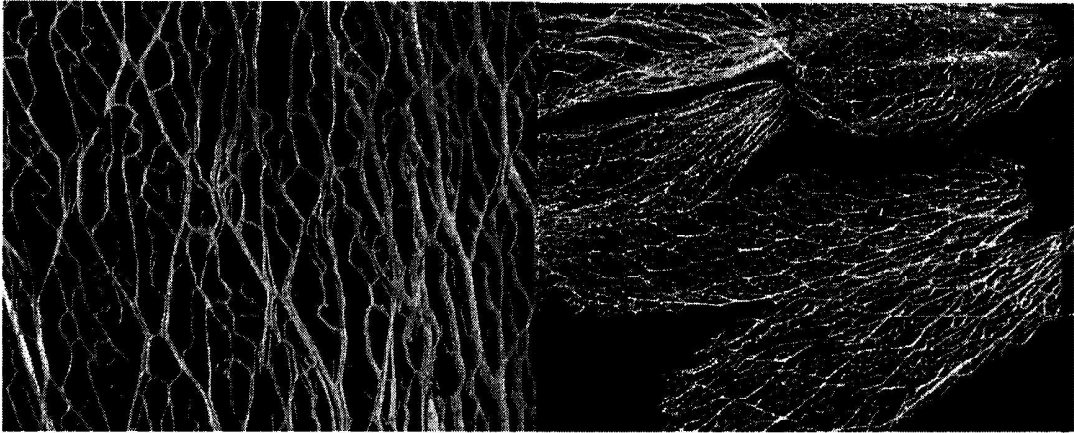


Figura 5