

MÉTODO PARA LA PRODUCCIÓN DE UNA BIOLÁMINA SIN ADITIVOS QUÍMICOS A PARTIR DEL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE VEGETALES Y APLICACIÓN DE DICHA BIOLÁMINA COMO BIOEMPAQUE

CAMPO TÉCNICO

[001] La presente tecnología se encuentra enmarcada en las tecnologías verdes y amigables con el medio ambiente, ya que, mediante la misma, se obtiene un material biocompuesto o biolámina, ciento por ciento natural aprovechando materiales vegetales de desecho como, por ejemplo, lechuga, repollo y coliflor entre otras verduras.

ESTADO DE LA TECNICA

[002] En la actualidad se presenta el problema del aumento de residuos de materiales de uso cotidiano, como el plástico de un solo uso y papel que, al estar constituidos por materiales de origen no renovable, y al utilizar una alta demanda de recursos naturales en su elaboración, han causado impactos negativos al medio ambiente. Datos del programa para el medio ambiente de la ONU, afirman que en el mundo se desechan 280 millones de toneladas de plástico al año, de los cuales el 49% son residuos de plásticos de un solo uso (Noticias Parlamento Europeo. Octubre 12 de 2018).

[003] Entre los residuos de plástico de un solo uso se encuentran los empaques que, al estar constituidos de materiales de fuentes no renovables como el petróleo, presentan una lenta degradación (superior a 100 años), se acumulan y por fenómenos naturales se descomponen en micropartículas, llegando así a contaminar todos los ecosistemas trayendo consigo la posibilidad de afectar a la salud de los humanos, debido a la infiltración de microplástico en la cadena trófica. Estudios realizados indican que el 60% de las especies marinas tienen rastros de plástico en el intestino y 90% de las aves marinas lo habrán ingerido.

[004] Así mismo, empaques como el papel y cartón presentan un impacto significativo al medio, ya que para su elaboración es necesario utilizar químicos tóxicos. Estos son usados en forma de herbicidas compuestos, antifúngicos y fertilizantes sintéticos, durante la etapa de siembra y producción de especies forestales. También son utilizadas bases fuertes como el KOH, NaOH y H₂O₂

durante las etapas de deslignificación de estos materiales que producen uno de los efluentes más contaminantes: el licor negro.

[005] En el ámbito de las patentes, se conoce por ejemplo la patente internacional WO2017044891 que muestra materiales compuestos que se fabrican sometiendo un material vegetal que contiene fibra, o una mezcla de dichos materiales vegetales, a al menos una etapa de procesamiento termoplástico, como extrusión, moldeo por compresión, moldeo por inyección, moldeo al vacío o soplado de película. El procesamiento termoplástico puede llevarse a cabo en presencia de un agente de enlace, tal como un agente de enlace químico tipo urea-formaldehído o una proteína. Antes de la(s) etapa(s) de procesamiento termoplástico, los materiales vegetales se someten a al menos un tratamiento preliminar, por ejemplo, un tratamiento térmico, adición de un álcali, molienda, humectación, lavado, desfibrilación y/o combinación de los mismos.

[006] El producto de la etapa o etapas de procesamiento termoplástico mostrado en dicha patente puede someterse a un tratamiento posterior, por ejemplo, secado y/o curado. Los materiales vegetales incluyen soya, girasol, colza, aceite de palma, cacao, lino, trigo y cebada. Los materiales vegetales se pueden mezclar con aditivos antes y/o durante la etapa o etapas de procesamiento termoplástico, por ejemplo, con agua, glicerol, glioxal, dialdehído glutárico, lecitina, materias primas a base de madera y/o un colorante.

[007] De otra parte, la patente WO2000006650 enseña bolsas biodegradables para la eliminación de una sustancia no deseada, en donde las bolsas se forman a partir de un material bioplástico hecho de un material de base biológica en forma de harina de maíz y un plastificante biodegradable seleccionado del grupo que consiste en aceite vegetal, poliésteres hechos de glicerina, glicerina, derivados de glicerina y sus combinaciones. La harina de maíz comprende un porcentaje menor en volumen del volumen total del material bioplástico. Se usa un aditivo biodegradable para proporcionar un grado de rigidez al material, el aditivo preferido es el ácido poliláctico. Se puede incluir opcionalmente un estabilizador UV.

[008] El documento WO2012054003 se refiere a un bioplástico que comprende una mezcla de material con base en compuestos de alta masa molecular con sustancias orgánicas activas de origen natural. Como material base de compuestos de alta masa molecular, el bioplástico comprende un polímero o un caucho, o una composición sobre la base de los mismos, en una cantidad de 79,99-99,997% en

masa. Como sustancias activas de origen natural, el bioplástico comprende extractos momificados o secos de materias primas vegetales o de cualquier organismo vivo y/o cualquier sustancia natural de diversos orígenes o una combinación de ambos en una cantidad de 10.0-0.001% en masa. Además, el bioplástico comprende microelementos y/o macroelementos presentados individualmente o en forma de cualquier compuesto de los mismos o sustancias de forma orgánica en una cantidad de 10.0-0.001% en masa y componentes auxiliares.

[009] La patente CN108065282 describe un método para preparar papel vegetal (láminas) de calabaza. El método comprende los siguientes pasos: seleccionar y tratar previamente las materias primas de calabaza; realización de pulpa y mezcla: poner bloques de calabaza ablandados en un agitador, realizar trituración y pulpa, luego agregar CMC, almidón soluble, gelatina y azúcar blanca en la pulpa de calabaza obtenida de acuerdo con una cierta proporción y realizar una agitación uniforme hasta obtener pulpa de calabaza compuesta. La realización del revestimiento y la conformación de la película: revestimiento del interior de un troquel con la pulpa de calabaza preparada, y esparcir la pulpa de calabaza en una capa delgada con un espesor uniforme de 0.4-0.6 cm; realización de horneado, pelado de láminas y aromatizantes; realizar una segunda cocción; y llevar a cabo el enfriamiento, la conformación y el envasado: enfriar en segundo lugar el papel vegetal de calabaza horneado, realizar el corte y la conformación, cortar el papel vegetal de calabaza y realizar el envasado al vacío utilizando bolsas de película comestibles. El método de preparación de la invención es simple, utiliza eficazmente las calabazas y lleva a cabo un procesamiento profundo en las calabazas. El papel vegetal de calabaza tiene un sabor único, un color dorado y atractivo, buena formabilidad, sabor dulce y buena calidad.

[010] La patente JP20170197209 plantea el problema técnico de preparar un compuesto de fibra que contenga fibras vegetales y resina termoplástica sin laminar en una pluralidad de bandas, el compuesto de fibra sea excelente en ligereza y rigidez junto con una resina termoplástica que no se distribuya heterogéneamente en la superficie, y un método de fabricación de la misma, para lo cual, se propone un método de fabricación de un compuesto de fibra que incluye: un proceso de formación de banda para formar una banda que contiene fibras vegetales y fibras de resina termoplástica; un proceso de enredado para enredar las fibras para producir un producto enredado; aplicar cápsulas de expansión térmica en una superficie en un lado de la superficie del producto enredado; permear las cápsulas de expansión térmica aplicadas en el producto enredado; calentar el producto

enredado permeado para fusionar la resina en el que las cápsulas de expansión térmica se impregnan y funden; y un proceso de expansión para calentar el producto enredado en el que se funden fibras de resina termoplástica y expandir las cápsulas de expansión térmica, en el que el proceso de expansión se realiza al mismo tiempo que el proceso de fusión o secuencialmente.

[011] Por esta razón es importante comenzar a desarrollar materiales alternativos a partir de recursos renovables como la biomasa. Según un estudio realizado por la Universidad Central de Colombia, sobre la generación de residuos sólidos se puede encontrar que un 88% corresponde a residuos orgánicos que pueden ser aprovechables, motivo por el cual en la presente invención se aprovechan los residuos de origen vegetal, principalmente de fuentes tales como lechuga, repollo y coliflor, entre otros, que provienen de plazas de mercado, supermercados, centros de acopio y post cosecha para generar una biolámina o biocompuesto 100% natural y biodegradable al que no se le agrega ningún tipo de químico durante su procesamiento.

[012] Por tanto, es una necesidad el poder reincorporar residuos orgánicos como materia prima durante el desarrollo de nuevos productos en reemplazo de aquellos que se derivan de fuentes no renovables como plásticos de un solo uso (empaques). Adicionalmente, la presente invención permite crear productos de valor económico, minimizar las emisiones de gases de efecto invernadero, lixiviados, propagación de vectores y aumentar la vida útil de los rellenos sanitarios, puesto que el sector de empaques y envases presenta una demanda significativa. En Colombia se encontró que, en el 2017, se consumió un promedio de 56% de plástico en empaques y envases de los cuales, la demanda del 38% era del sector de alimentos.

[013] En este sentido, es un objetivo de la presente invención lograr sustituir objetos fabricados con plástico de un solo uso como son los empaques, por empaques biodegradables realizados con un nuevo biolaminado/biocompuesto/biolámina que permita disminuir la contaminación, puesto que tienen una menor huella de carbono al consumir menores recursos como agua y energía. Adicionalmente, su materia prima son residuos provenientes de plazas de mercado, supermercados y post cosecha, los cuales por el momento no tienen ningún costo lo que permitiría crear una nueva cadena de valor. De igual manera no generan residuos contaminantes en su procesamiento y no es necesario usar químicos como la soda caustica y agentes clorados para deslignificar la fibra, lo que los hace 100 % biodegradables. Por tanto, el método o proceso de acuerdo

con la presente invención y su producto hacen un aporte significativo al estado del arte al proporcionar una solución práctica al problema de empaques y productos desechables no biodegradables existente en la actualidad.

DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

[014] La figura 1 muestra una secuencia de fotografías del proceso o método de acuerdo con la presente invención con un material vegetal residual ejemplificativo.

[015] La figura 2 enseña un diagrama de flujo del proceso de obtención de un biolaminado o biolamina de acuerdo con la presente invención.

[016] La figura 3 muestra algunas aplicaciones de las biolaminas obtenidas de acuerdo con la presente invención.

[017] La figura 4 muestra el análisis termogavimétrico realizado al biocompuesto o biolamina obtenida de acuerdo con el proceso de la invención.

[018] La figura 5 muestra un análisis termogavimétrico realizado a la lechuga, presentó un comportamiento de degradación muy similar a la biolamina.

[019] La figura 6, muestra los resultados del análisis de calorimetría diferencial de barrido DSC de la biolamina.

[020] La figura 7, muestra los resultados del análisis de calorimetría diferencial de barrido DSC de la lechuga y la biolamina.

[021] Las figuras 8, 9, 10 y 11 muestran la relación de esfuerzo vs deformación para cuatro ensayos diferentes con las biolaminas obtenidas de acuerdo con el método de la presente invención.

[022] La figura 12 muestra el comportamiento de la biolamina en presencia de ácido sulfúrico al 72% en fotografías del experimento (a) después de 15min (b) 20 min y (c) 60 min. La Figura 13 muestra el comportamiento de la biolamina con la misma concentración de ácido sulfúrico (72%) luego de 5 días.

[023] Las figuras 14 y 15 muestran fotografías del proceso de oxidación leve experimentado por las biolaminas tornándose de un color más oscuro y anaranjado con cuerpo consistente (figura 15).

[024] La figura 16 muestra una fotografía con el comportamiento de una biolamina de acuerdo con la presente invención luego de 5 días de exposición al agua.

[025] La figura 17 muestra una foto con el resultado del estudio de degradación y compostaje de las biolaminas obtenidos de acuerdo con el método de la presente invención.

[026] La figura 18 muestra fotografías de biolaminas enterradas a los 5 días de acuerdo con la invención en donde la biolamina tiene una apariencia ya degradada en a) muestra 1 de vaso 1 b) muestra 2 de vaso1 c) muestras del vaso 2.

[027] La figura 19 muestra el resultado de micrografías de la biolámina cara A. a) figura original b) imagen binaria c) trazado de la sección transversal d) trazado de la superficie.

[028] La figura 20 muestra el resultado de micrografías de la biolámina cara B. a) figura original b) imagen binaria c) trazado de la sección transversal d) trazado de la superficie.

RESUMEN DE LA INVENCION

[029] La presente invención hace referencia a un método para la producción de una biolámina sin aditivos químicos a partir de residuos vegetales caracterizado porque el método consiste en las etapas de lavado de residuos; picado del material; cocción con agua, picado mecanizado, formación de la biolámina sobre un molde, secado en un horno y separación del mismo; y a una biolámina sin aditivos químicos a partir de residuos vegetales que se obtiene mediante dicho método.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

[030] En un primer aspecto, la presente invención hace referencia a un método o proceso para la producción de una biolámina o biolaminado sin aditivos químicos a partir del aprovechamiento de residuos vegetales, el cual comprende pasos sencillos y cuya secuencia lógica permite la obtención de un material bioplástico de origen vegetal resistente y que presenta una biodegradación rápida sin contaminar el medio ambiente. El proceso o método de la presente invención comprende las etapas de:

- a. Lavado de residuos;
- b. Picado del material;
- c. Cocción con agua durante un tiempo determinado;
- d. Picado mecanizado;
- e. Formación de la biolámina sobre un molde;
- f. Secado; y
- g. Separación del molde;

[031] En la etapa a. el lavado se puede llevar a cabo agregando agua en una proporción de material vegetal de residuo a agua de 1: 3 partes, es decir, por ejemplo, para 1 kg de material se puede lavar con 2 a 3 litros de agua que puede

contener por ejemplo de 20 a 60 ml de cloro en forma de hipoclorito de sodio por cada litro de agua empleado para desinfectar el material. Esta etapa de lavado comprende un tiempo de reposo de 10 a 60 minutos, preferiblemente de 20 a 40 minutos, luego del cual se puede repetir el lavado con agua sin contenido de cloro.

[032] La etapa b. consiste en un desmenuzado o disminución de tamaño del material, el cual puede realizarse de manera manual o mecánica dependiendo de la cantidad de material vegetal residual a tratar. En una modalidad preferida de la invención el tamaño de los residuos puede estar entre 5 y 10 cm, preferiblemente a un tamaño de 7 cm.

[033] La etapa c. corresponde a la cocción con agua durante un tiempo determinado, en donde la cocción se realiza con una cantidad de agua determinada, por ejemplo, en una proporción de una parte de material residual por 2 a 3 partes de agua limpia. Esta etapa se realiza por un tiempo determinado, en donde la cocción se considera terminada cuando el material ha perdido por evaporación de un 20% a un 50% de agua, preferiblemente entre 30% y 40% de agua evaporada. La temperatura en esta etapa oscila entre 80 y 110°C. Esta cocción se puede llevar a cabo en recipientes convencionales, tales como recipientes de aluminio, autoclaves, ollas industriales a presión, etc. El tiempo de cocción dependerá también de la naturaleza del residuo a tratar. Por lo general, el tiempo puede oscilar entre 60 minutos y 180 minutos, preferiblemente entre 90 minutos y 120 minutos.

[034] Luego en la etapa c, se puede colocar el material en un tamiz para retirar el agua sobrante y posteriormente se deja a temperatura ambiente por un periodo de 10 a 30 minutos, preferiblemente 15 minutos. Por ejemplo, para procesar de manera artesanal 1kg de residuos se utiliza un tamiz de 20 cm de diámetro por 4cm de alto con una malla de 15 mm.

[035] En la etapa d. el picado o trituración de la materia prima se puede realizar con una licuadora o un picador industrial de alimentos, dependiendo de la cantidad de material a procesar. La velocidad de picado o trituración puede estar entre 1.000 rpm y 5.000 rpm y el tiempo de procesado en esta etapa dependerá de la naturaleza del material vegetal residual tratado, por ejemplo, para residuos de lechuga Batavia, cressa y romana, el tiempo puede estar entre 1 y 5 minutos, para materiales residuales de diferentes clases de repollo, el tiempo puede estar entre 8 a 20 minutos. En general, el tiempo de esta etapa puede estar entre 1 y 40 minutos.

[036] En la etapa e. la formación del biolaminado o biolamina se puede llevar a cabo mediante el armado de un molde que puede tener cualquier forma geométrica adecuada. Por ejemplo, se puede armar un molde de 23cm × 34cm en madera y en la base se coloca papel aluminio, luego sobre el molde se coloca la masa y se extiende sobre toda la superficie de manera homogénea con ayuda de una espátula o cualquier otro elemento que ayude a aplanar el material sobre la superficie del molde. El material se nivela con la ayuda de una espátula. A la vez se realiza presión para que no queden burbujas de agua y para buscar uniformidad.

[037] En la etapa f. el secado se puede llevar a cabo por partes y es importante, para obtener un material de calidad. Al inicio debe de secar a 105°C por un periodo de 30 minutos a 90 minutos, preferiblemente 60 minutos en un horno, seguido de una aireación por 10 minutos. Luego se vuelve a secar a 105 °C por 30 minutos a 90 minutos, preferiblemente 60 minutos en el mismo horno. Después se deja secar a temperatura ambiente, preferiblemente durante un periodo de 60 minutos a 480 minutos y a temperaturas ambientes entre 19°C y 35°C a fin de completar el secado.

[038] La etapa g. comprende la separación de la biolamina, lo cual se realiza una vez se observe que el material está totalmente seco y se procede con la separación de la biolamina de la superficie del papel aluminio empleado como base.

[039] El material vegetal residual que puede ser procesado con el método de la presente invención comprende pero no se limita a residuos de lechuga batavia (*Lactuca sativa* var. *Capitata*), cressa (*Lactuca sativa* var. *crispa*) y romana (*Lactuca sativa* L. var. *Longifolia*), repollo blanco (*Brassica oleracea* var. *Capitata* L.) y morado (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra*), coliflor (*Brassica oleracea* var. *Botrytis* L), cebolla larga (*Allium fistulosum*), cebolla cabezona (*Allium cepa*), acelga (*Beta vulgaris* var. *cicla*), remolacha (*Beta vulgaris*) y zanahoria (*Daucus carota*), remolacha (*Beta vulgaris*), cáscaras de mango, papa, plátano y mezclas de los mismos. En una modalidad de la invención.

[040] A continuación, se enuncian algunos ejemplos de biolaminas obtenidas a partir de algunos residuos de vegetales y de acuerdo con el proceso de la presente invención.

[041] De acuerdo con lo anterior, los residuos que se utilizaron son los ejemplos enunciados en la siguiente tabla

Tabla 1. Residuos de vegetales utilizados

Vegetal	Tiempo de trituración (min)	Tiempo de Cocción (min)
Lechuga Batavia, crespa y romana	3	120
Repollo blanco y morado	16	120
Coliflor	6	120
Acelga	3	60
Cebolla	3	60
Zanahoria	18	60
Remolacha	2	60
Cáscara de mango	25	60
Cáscara de Plátano	20	120
Cáscara de papa	12	60
Lechuga repollo y coliflor (Partes iguales)	10	120
Zanahoria y remolacha (partes iguales)	15	60

EJEMPO 1

[042] El proceso comienza con el lavado de 750g de residuos de lechuga al cual se agregó 2,1L de agua + 40mL de cloro durante 20 minutos a temperatura ambiente. Luego se enjuaga con 2.1L de agua. La etapa de cocción se realizó agregando una cantidad de agua que se utiliza al procesar 750 g de residuo (aproximadamente 2L de agua). Se observó que la cantidad de agua que se pierde en el proceso fue de 737mL en una hora, es decir 36,8 %. Luego de las etapas de picado mecanizado, formación de la biolámina sobre el molde, el secado en el horno y la separación del molde se obtuvo una biolámina la cual se sometió a varios análisis fisicoquímicos.

PERMEABILIDAD

[043] Se realizó la observación del comportamiento de una gota de agua frente a los diferentes materiales obtenidos mediante el proceso de la invención, comparados con una hoja de papel convencional durante 1 hora. Cabe recalcar que en la prueba no se tuvo en cuenta el grosor de los materiales, lo que puede que

modifique el tiempo de absorción de la gota de agua en cada uno. Del experimento se concluyó que los materiales en los cuales se presenta lenta absorción de agua son para aquellas bioláminas de lechuga, repollo, coliflor y zanahoria.

HIDROFOBICIDAD

[044] Para la biolámina de lechuga, pasados 4 minutos se presenta dilución de componentes por cambio de color, pero la gota de agua permanece igual. Después de 16 minutos se presenta poca humedad en el otro lado del material biolaminado, no se presenta dispersión de agua. A los 30 minutos no hay dispersión de la gota de agua. Después de 1 hora no se presenta dispersión de agua, el cuerpo de la gota aún persiste, aunque con poco volumen y el otro lado de la biolámina presenta poca humedad.

[045] Para la biolámina de Repollo blanco, pasados 4 minutos se presenta dilución de componentes por cambio de color, pero la gota de agua permanece igual. Después de 16 minutos se presenta poca humedad en el otro lado del material, no se presenta dispersión de agua. A los 30 minutos no hay dispersión de la gota de agua. Después de 1 hora no se presenta dispersión de agua, el cuerpo de la gota aún persiste, aunque con poco volumen, y el otro lado del material biolaminado presenta poca humedad y se torna pegajoso.

[046] Para la biolámina de Coliflor, pasados 4 minutos se presenta dilución de componentes por cambio de color, pero la gota de agua permanece igual. Después de 16 minutos se presenta poca humedad en el otro lado del material, no se presenta dispersión de agua. A los 30 minutos no hay dispersión de la gota de agua. Después de 1 hora no se presenta dispersión de agua, el cuerpo de la gota aún persiste, aunque con poco volumen, y el otro lado del material presenta poca humedad y se torna pegajoso.

[047] Para la bioláminade acelga, pasado 1.20 minutos se presenta esparcimiento moderado de la gota de agua. A los 15 minutos se observa absorción total de la gota de agua, pero no se presenta humedad en su otra cara.

[048] Para la bioláminade cebolla, pasados 4 minutos se presenta dilución de componentes por cambio de color, pero la gota de agua permanece igual. Después de 30 minutos se presenta total absorción, pero no presenta humedad en su otra cara.

[049] Para la bioláminade zanahoria, pasados 4 minutos se presenta dilución de componentes por cambio de color, pero la gota de agua permanece igual. A los 20 minutos se presenta humedad al otro lado del material, pero no hay dispersión de la gota de agua. Después de 1 hora no se presenta dispersión de agua, el cuerpo de la gota aún persiste, aunque con poco volumen, y el otro lado del material presenta poca humedad y se torna pegajoso.

[050] Para el control, que es el papel convencional, se observó que pasados 15 segundos se presenta dispersión de la gota de agua y a los 8 minutos se presente absorción total.

[051] Con esta experimentación, se puede concluir que las bioláminas obtenidas de acuerdo con la presente invención presentan características significativas deseadas de hidrofobicidad que los hacen deseables para aplicaciones tales como empaques para aromáticas, té, refrescos, empaques para esponjas de limpieza, empaques de pañuelos, empaques para pinzas, cauchos para el cabello, empaques para lapiceros, marcadores, crayones, borradores, empaques para gelatinas, empaques para barras de cereales, empaques para chocolates, empaques para adhesivos y soportes y empaques para café entre otras muchas más aplicaciones.

[052] En este sentido, la presente invención también abarca los posibles usos desde el punto de vista de diseño, bien sea para la elaboración de platos desechables, bandejas desechables, bolsas para regalos, módulos de decoración, embalaje de un solo uso para confetis e individuales para mesas de restaurantes entre muchos otros diseños.

[053] Se realizaron pruebas adicionales a la biolámina obtenida de acuerdo con la presente invención, las cuales se enuncian a continuación:

Caracterización Química

[054] La caracterización química realizada al biocompuesto o biolámina indicó, que es un material compuesto. Los porcentajes de celulosa, hemicelulosa y lignina son muy diferentes en relación al residuo de lechuga (biocompuesto o biolámina) como se observa en la tabla 2

Tabla 2. Caracterización química de la biolámina y la lechuga por el proceso termofísico en donde cambia por completo la estructura interna entre estos compuestos ya que existe un re-arreglo de los enlaces.

Componentes	Biolámina	Lechuga
Hemicelulosa %	0,59 ± 0,02	10,9
Celulosa %	0,97 ± 0,21	27,31
Lignina %	0,92 ± 0,22	17,7
Ceniza %	3,35 ± 0,12	43,89

[055] Los resultados muestran que los procesos físicos realizados para generar la biolámina modificaron su estructura, haciéndola insoluble en la mayoría de los reactivos usados para hacer la determinación de celulosa y hemicelulosa por el método de Van Soest. Lo más sorprendente es que se hizo resistente aún a la hidrólisis de materia orgánica con ácido sulfúrico al 72%, durante la etapa de determinación de la solubilización de celulosa y lignina. Igualmente, es difícil realizar la caracterización químicamente, por otro método como el de NREL (National Renewable Energy Laboratory) debido a que este se basa en la hidrólisis del material con H₂SO₄.

[056] Si bien la caracterización indicó que los porcentajes de fibra son mínimos, esto no corresponde con la estructura fibrosa del material que es homogénea en todo su cuerpo.

Caracterización microbiológica

[057] El análisis microbiológico se realizó con el laboratorio Angel Bioindustrial de la ciudad Santiago de Cali, en donde se analizaron seis muestras del biomaterial (biolámina) obtenido por el método de la presente invención y de acuerdo con los ejemplos anteriormente mencionados. Los resultados indicaron que las pruebas microbiológicas están bajo los rangos estipulados por la norma del INVIMA de envases, tapas y corchos. En la siguiente tabla 3 se muestran los resultados.

Tabla 3 Resultado de análisis microbiológico.

ANÁLISIS	MÉTODO	ESPECIFICACIÓN	RESULTADO
----------	--------	----------------	-----------

Recuento de Coliformes totales UFC / g	Recuento en Placa	< 10	< 10
Recuento de Coliformes fecales UFC / g	Recuento en Placa	< 10	< 10
Recuento de Estafilococo Coagulasa Positiva	Recuento en Placa	< 100	< 100

Caracterización térmica

[058] La figura 4 muestra el análisis termogavimétrico realizado a la biolámina obtenida de acuerdo con el proceso de la invención. La curva de color verde representa la pérdida de masa y la curva de color azul la derivada de pérdida de masa. Se puede observar que la degradación de la biolámina se da en cinco etapas; en la primera se aprecia una disminución de 7,1 % del peso de la muestra al alcanzar 110°C relacionados a la pérdida de agua.

[059] La segunda pérdida de masa es de 5,49% entre los 110°C y 180°C asociado a la degradación de líquidos extraíbles. Posteriormente se presenta la degradación de la hemicelulosa en donde, se presenta una pérdida de masa de un 17,03% entre 180°C y 270°C. La degradación de la celulosa se da entre 270°C y 400°C con una pérdida de masa de 30,55%, en donde la máxima descomposición de la celulosa se dio a una temperatura de 315°C. La última pérdida de masa corresponde a la degradación de la lignina, que se da a temperaturas superiores de 400°C.

[060] Estos resultados indicaron que la biolámina es estable térmicamente, ya que la descomposición de hemicelulosa y celulosa se da a temperaturas elevadas.

[061] Un análisis termogavimétrico realizado a la lechuga, presentó un comportamiento de degradación muy similar a la biolámina. En la figura 5 se puede apreciar las curvas TGA de la biolámina y el de la lechuga (de color verde). Se puede observar que solo se presentó una diferencia en la pérdida de masa de la holocelulosa (hemicelulosa y celulosa) en el intervalo entre 200°C y 310°C, debido

quizás a una nueva redistribución o entrecruzamiento de las fibras de la biolámina que lo hace más estable térmicamente.

[062] De acuerdo con la figura 6, se observan los resultados del análisis de calorimetría diferencial de barrido DSC de la biolámina, en donde se observa un pico endotérmico a 77,53°C relacionado a la evaporación de agua. También se presenta un pico exotérmico a 256,95°C asociado a la descomposición de hemicelulosa y celulosa con una entalpia de 16,77 J/g.

[063] Un comportamiento similar, se observó en el análisis realizado a la lechuga (Figura 7), en donde se presenta un pico endotérmico a 69,23°C por la evaporación de agua y un pico exotérmico a 215,9°C por volátiles ligeros.

[064] También se realizó un análisis de conductividad térmica. En la Tabla 4, se presentan los resultados de la prueba de conductividad térmica de la biolámina obtenida de acuerdo con el proceso de la presente invención y la comparación de una prueba realizada a un poliestireno.

[065] La prueba se realizó con el equipo KD2 Pro Thermal Properties Analyzer en laboratorios de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, México y como resultado se encontró que el material tiene una K promedio de 0,050 W/(mK) y el poliestireno 0,045 W/(mK). Comparando estos resultados se pudo encontrar que la K promedio de la biolámina, presenta una diferencia de 11,1% con respecto a la K promedio del poliestirero, esto indica que tiene un comportamiento de aislante térmico. La constante de conductividad térmica de la biolámina, está por debajo de materiales como concreto 0,8 W/(mK), la madera 0,15 W/(mK), paja 0,37 W/(mK) y el cáñamo 0,094 W/(mK).

Tabla 4. Resultados de conductividad térmica de la biolámina y de poliestireno

Muestras	k prom (w/m.K)
Poliestireno	0,045 ± 0,0139
Biolámina	0,05 ± 0,0221

[066] Se realizó también caracterización física relacionada con la tensión a fin de conocer el comportamiento de la biolámina frente a la aplicación de tensión y se llevaron a cabo dos experimentos. En el primer experimento se obtuvo gráficas de esfuerzo vs deformación, en las cuales se pudo observar que los cuatro ensayos se

comportan de la misma manera, es decir, presentan un comportamiento elástico y no presentan deformación permanente. (figuras 7, 8, 9,10).

[067] En el primer experimento (ensayo 1) de tensión, se trabajó con tres muestras con el mismo espesor, los resultados se pueden observar en la tabla 5, en donde se muestra una variación en la resistencia a la tensión entre 93,57 y 117,32 kN/m, lo que puede estar relacionado con la distribución de las fibras, ya que el material no presenta una homogeneidad de 100% debido a su elaboración artesanal. Esto mismo se pudo observar en el segundo experimento (ensayo 2) en donde, se trabajó con muestra con diferentes espesores (Tabla 6). Se puede corroborar que el espesor de la muestra también está relacionado con la variación de la resistencia a la tensión del material, ya que los valores más bajos encontrados están relacionados con los espesores mínimos de las muestras. Sin embargo, se puede notar una variación en la muestra 3 (ensayo 3), la cual tiene un valor mayor de resistencia a la tensión que la muestra 4 (ensayo 4), que puede ser debido a que se presentaban agujeros o mayores concentraciones de fibra en ciertos puntos del cuerpo de la muestra, de igual forma que en los resultados encontrados en el primer experimento.

Tabla 5. Resultados del primer experimento de tensión de la biolámina.

N° Prueba	Carga máxima (kN)	Deformación Máxima (%)	Módulo elástico (MPa)	Esfuerzo ultimo (MPa)	Extensión máxima (mm)
1	0.04165	1.6904488	5.8949209	9.3705302	1.20003
2	0.03855	1.5950859	5.8616537	8.7426345	1.13333
3	0.03328	1.4285673	5.7333407	7.5462621	1.01660

Tabla 6. Resultados del segundo experimento de tensión de la biolámina.

Muestra	Espesor (mm)	Carga máxima (kN)	R.T (kN/m)
1	0,3	0,03599	119,97
2	0,5	0,06786	135,72
3	0,4	0,06325	158,13
4	0,3	0,03648	121,60

[068] Otro de los estudios realizados con las bioláminas obtenidas de acuerdo con el proceso de la presente invención, es el relacionado con la resistencia al medio ácido. En esta prueba se utilizó ácido sulfúrico a 72% como medio ácido y se observaron las muestras a 15 minutos, 20 minutos y 60 minutos. Los resultados del experimento se muestran en la Figura 12. Como resultado se presentó una leve oxidación denotada por el cambio de color en el material a los 15 y 20 minutos. En cambio, a los 60 minutos se muestra el material oxidado casi en su totalidad. También se puede observar que el medio ácido se tornó de color café verdoso, por el desprendimiento de algunas sustancias del material.

[069] También se realizó la observación de la biolámina después de 5 días en ácido sulfúrico al 72%, en donde se presentaron desprendimiento de pequeños pedazos del material, pero el cuerpo aún se mantenía consistente, pero gomoso. Figura 13.

[070] Del mismo modo se realizaron pruebas a la biolámina en agua y en ácido sulfúrico diluido durante un día. Las muestras en agua mostraron gomosidad, pero consistencia en el cuerpo (Figura 14), y las muestras en ácido sulfúrico diluido mostraron oxidación leve tornándose de un color más oscuro y anaranjado con cuerpo consistente figura 15.

[071] La descomposición en agua de una biolámina obtenida de acuerdo con el proceso de la presente invención, se puede observar de mejor manera en una prueba que se realizó, sumergiendo cinco muestras en un vaso de precipitado con 30mL de agua durante 5 días. En esta prueba se encontró que a los 5 días las muestra aún tenían el cuerpo completo, solo se presentó turbiedad en el agua por la disolución de algunos componentes de la muestra (figura 16).

[072] Para entender el comportamiento de la biolámina en estas pruebas, se decidió realizar las mismas pruebas con un material semejante, como el papel. Se hicieron recuadros con las mismas dimensiones de la biolámina. Se encontró que el papel en ácido sulfúrico diluido al 72%, se degradó en su totalidad en menos de un día, esto mismo pasó con el experimento realizado con agua.

[073] Se realizó también una prueba de degradación y compostaje. La prueba de degradación cualitativa de la biolámina se realizó en suelo franco arcilloso, con una temperatura ambiente promedio de 31°C. Las muestras se dejaron durante diez días bajo tierra, presentándose lluvia al séptimo día. El resultado obtenido fue la

degradaron completa de las muestras de bioláminas obtenidas mediante el método de la presente invención. (figura 17).

[074] Dado el resultado anterior, se decidió realizar otra prueba con cinco muestras durante cinco días en donde se presentó lluvia al tercer día. Se tuvieron los mismos resultados que la prueba anterior de degradación total. Debido a estos resultados se efectuó otra prueba, en la cual cuatro muestras de la biolámina fueron enterradas en vasos desechables transparentes por cinco días. Los resultados fueron que las muestras se estaban disolviendo en el medio y presentaban fragilidad en el cuerpo (Figura 18). Con los resultados de la anterior prueba de degradación en agua, se podría afirmar que en un medio húmedo y con ayuda de la microflora del ambiente, el material presenta una rápida degradación. Esto, si se compara con materiales como el papel y el cartón, que tardan en degradarse entre 2 meses y medio o hasta un año, dependiendo de las sustancias químicas utilizadas en su elaboración.

[075] El aislamiento térmico también fue una prueba cuyos resultados de muestran en la tabla 7, se muestran los resultados de la prueba de pulso ultrasónico, la cual se realizó con el equipo Controls E48 en los laboratorios de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, México. Se puede observar que en la muestra B3 (1,73 μ s), la transición de la onda ultrasónica tarda más tiempo en atravesar el material, en comparación de la muestra B1 (0,83 μ s), lo que indica que, a mayor grosor del material, aumenta el tiempo de transición de la onda ultrasónica. Puede que, si se produce la biolamina con un grosor mayor, las ondas de calor tarden más en atravesar el material haciendo de éste un material más aislante.

Tabla 7. Resultados de prueba de ultrasonido de la biolamina.

Muestra	Grosor (mm)	μ s
B1	0,4	0,83 $\pm$ 0,058
B2	0,5	1,03 $\pm$ 0,115
B3	0,6	1,73 $\pm$ 0,058

[076] De otra parte, se realizó la caracterización por superficie por medio del método de dimensión fractal. Para esta prueba se utilizó el equipo Digital Microscope por 500 ampliaciones con resolución de 2 mega pixeles, que permitió tomar micrografías a 500x, con el fin de realizar un monitoreo de la superficie del material y con ayuda del programa image J. Los resultados se muestran en la tabla

8, en donde la cara A representa la parte lisa o plastificada y la cara B la parte no plastificada. Se encontró que ambas caras presentan irregularidad en la superficie, y al comparar los resultados de dimensión fractal de las dos caras no presentan diferencia significativa. Así mismo el perfil del bioplástico o biolámina presenta irregularidad, sin diferencia significativas entre caras. Esto se ve reflejado en los trazos transversales tanto de la superficie como el del perfil, en el cual no se presenta homogeneidad lo que respaldaría los resultados que se encontraron en la prueba de tensión figura 19 y 20. El problema del alto índice de irregularidad en la biolámina, puede ser ajustado en un proceso industrial en donde se busque homogeneidad en la película, antes del secado.

Tabla 8 Valores de la dimensión fractal de la superficie y del perfil de la biolámina.

Parte de la muestra	Dimensión fractal de la superficie	Dimensión fractal del perfil
cara A	1,696 ± 0,014	1,269 ± 0,022
cara B	1,659 ± 0,033	1,281 ± 0,046

VENTAJAS Y BENEFICIO DE LA INVENCIÓN

[077] La biolámina encontrada es 100% de origen vegetal, natural y renovable. Proviene de un residuo, no tiene adición de ningún químico, ni conversión química o bioquímica. En su elaboración solo se aplicaron procesos de transformación física sin aditivos (ácidos, bases o plastificantes), por lo cual no genera residuos contaminantes, y su huella de carbono es baja. Presenta un lado hidrofílico y otro hidrofóbico.

[078] Además, es un material que, en el caso de la lechuga, es resistente al ataque químico, no se disuelve en ácido sulfúrico, no presenta coliformes fecales, coliformes totales, ni *Estafilococo Coagulasa Positiva*. Su degradación térmica está por encima de los 180°C. Se comporta como un aislante térmico con una constante de conductividad 0,005 W/ m.K, la cual es muy cercana a la del poliestireno y resiste una carga física similar al papel 0.036235 Kn. Se deja sellar, para hacer empaques. Se composta en cinco días.