



Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas.

Área temática Ecología y Conservación.

Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales

Tesis

Obtención de un biopolímero absorbente a partir de bagazo residual de agave mezcalero

Que para obtener el grado de Maestro en Ciencias

Presenta

Q.F.B Eliseo Silva Espino



Director: Dra. Liliana Márquez Benavides

Co-director: Dr. Juan Manuel Sánchez Yáñez

Morelia, Mich. a marzo del 2020.



La presente investigación se realizó en el laboratorio de residuos sólidos y uso eficiente de la energía del Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales y el laboratorio de Microbiología Ambiental del Instituto de Investigaciones Químico Biológicas, dependientes de la UMSNH bajo la supervisión de la Dra. Liliana Márquez-Benavides y el Dr. Juan Manuel Sánchez-Yáñez.



**INSTITUTO DE
INVESTIGACIONES
AGROPECUARIAS
Y FORESTALES**



**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
QUÍMICO-BIOLÓGICAS
UMSNH**



Agradecimientos

“No hay nada perfecto en este mundo, eso solo es un mito, nunca llegara a ser realidad. Son desagradables las personas que admiran la perfección y que la buscan sin descanso. Pero ¿para qué te sirve la perfección? Para nada, nada, ni siquiera un poco.

Si algo fuera perfecto, no quedaría nada más. No habría lugar ni necesidad de tener un laboratorio. Nadie buscaría el conocimiento, ni desearía aumentar sus habilidades.

Para hombres de ciencia, la perfección solo trae frustración. El trabajo de un investigador es buscar y crear cosas maravillosas, nunca antes vistas, pero no perfectas. Un científico debe encontrar el placer mientras sufre por sus imperfecciones”.

Mayuri Kurotsuchi.

Es sabido que no soy bueno en expresar mi gratitud, además no me serían suficientes las líneas para manifestarla, pero cada uno de ustedes saben la importancia que tienen como maestros, compañeros de clase, de laboratorio, amigos y familiares, así como el tamaño del granito de arena con el que contribuyeron, cabe señalar, que el orden no tiene nada que ver con la importancia que tienen.

Agradezco a mis familiares mi tía Laura Isabel, mi abuela María Cristina y mi padre José Eliseo. Por alentarme a realizar esta osada odisea, su apoyo moral y en ocasiones económico, fueron determinantes en la consumación de este proyecto.

A mis directores de tesis la Dra. Liliana Márquez Benavides y el Dr. Juan Manuel Sánchez Yáñez. Por aceptar ser mis guías académicos durante este peldaño. Agradezco los consejos, la ayuda, la perseverancia, las convivencias entre muchas otras atenciones hacia mi persona. Ustedes fueron importantes para la obtención de este logro.

A mis sinodales la Dra. Berenice Yahuaca-Juárez, Dr. José Herrera-Camacho y Dr. Eduardo Baltierra-Trejo. Por sus valiosas aportaciones y recomendaciones, para la mejora y enriquecimiento de este trabajo.

A mis amistades Maribel Pantoja por el apoyo y la tolerancia, compañeros del laboratorio de residuos sólidos: Marina Velarde, Marco tulio Hernández, Iván Eduardo Estrada y Alejandro Espinoza. A los compañeros del IIQB: Blanca Celeste Saucedo, José Alberto Castro, Juan Luis Ignacio. A los compañeros del IIAF: Sujey Ayala, Carla Wendoline Rodríguez, Rangel García, Santiago Tinoco, Guillermo Paz y Edwing Pérez. Porque, por las ocurrencias, salidas, convivencias etc, pude sobre llevar el estrés y frustración que conlleva un posgrado.

A las personas que tuve la buenaventura de conocer en CIIDIR-Oaxaca y aún más el privilegio de considerar amigos. Al Dr. Gabino Alberto Martínez-Gutiérrez, Dra. Delia Soto-Castro, Dr. Miguel Chávez-Gutiérrez, M.C Frank Manuel León-Martínez. Aunque, no fui alumno me apoyaron y aconsejaron como tal. A los compañeros Alicia Reyes, Belem Villagómez, Deyla Barranco, Yunuen Santos, Michelle Huesca, Franco Antonio, Axel Jiménez, Jonatán Nieto, Daniel García. Gracias por brindarme la oportunidad de conocerlos, su amistad y sobre todo por hacer de mi estancia en Oaxaca una experiencia inolvidable.

Agradezco el apoyo económico otorgado por CONACyT mediante el número de becario 704055 y al proyecto 2.7 (2020) de la CIC-UMSNH.



Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN	14
2. MARCO TEÓRICO	16
2.1 AGAVE MEXICANO	16
2.2 EL MEZCAL	17
2.3 RESIDUOS GENERADOS POR LA PRODUCCIÓN DE MEZCAL	18
2.3.1 COMPOSICIÓN DEL BAGAZO DE AGAVE MEZCALERO	19
2.3.2 LEGISLACIÓN Y GESTIÓN DE LOS RESIDUOS DE LA ELABORACIÓN DE MEZCAL	22
2.3.3 MANEJO FINAL Y ALTERNATIVAS DE USO PARA EL BAGAZO DE AGAVE	23
2.4 MATERIALES ABSORBENTES	25
2.4.1 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MATERIALES ABSORBENTES (PRESENTACIONES COMERCIALES)	25
2.4.2 PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS MATERIALES ABSORBENTES	26
2.4.3 MECANISMOS PARA LA ABSORCIÓN DE AGUA	27
2.4.4 AGENTES GELIFICANTES	31
2.4.5 MECANISMOS PARA LA ABSORCIÓN Y ADSORCIÓN DE ACEITE	33
3. ANTECEDENTES	34
4. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	36
5. HIPÓTESIS	36
6. OBJETIVOS	36
6.1 OBJETIVO GENERAL	36
6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	36
7. MATERIALES Y MÉTODOS	37
7.1 DIAGRAMA GENERAL DE TRABAJO METODOLÓGICO	38
7.2 ELECCIÓN DEL SITIO DE MUESTREO Y TIPO DE MUESTREO DEL BAG	39
7.3 COLECCIÓN Y MANEJO DEL BAG	39
7.4 PREPARACIÓN DEL BAG	39
7.5 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL BAG	40
7.5.1 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD Y CENIZAS DEL BAG	40
7.5.2 DETERMINACIÓN DE EXTRAÍBLES DEL BAG	41
7.5.3 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HOLOCELULOSAS DEL BAG	42
7.5.4 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE LIGNINA DEL BAG	42
7.6 TRANSFORMACIÓN DEL BAG EN UN BIOPOLÍMERO ABSORBENTE DE LÍQUIDOS	43



7.6.1	OBTENCIÓN DE POLISACÁRIDOS VEGETALES	43
7.7	PRUEBAS FÍSICAS A LOS POLISACÁRIDOS VEGETALES.....	46
7.7.1	CONTENIDO DE SÓLIDOS SOLUBLES BRIX (°Bx).....	46
7.7.2	DETERMINACIÓN DE VISCOSIDAD.....	46
7.7.3	CAPACIDAD DE HINCHAMIENTO (CH).....	46
7.8	PREPARACIÓN DEL MATERIAL ABSORBENTE	47
7.9	MEDICIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS BIOPOLÍMEROS ABSORBENTES DE A. <i>INAEQUIDENS</i>	48
7.9.1	CAPACIDAD DE AGLUTINACIÓN CON AGUA (AGAG)	48
7.9.2	CAPACIDAD DE AGLUTINACIÓN CON ORINA (AGOR)	49
7.9.3	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE AGUA (ABAG)	49
7.9.4	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE ACEITE (ABAC)	49
7.10	ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LOS BIOPOLÍMEROS	50
7.10.1	MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO	50
7.10.2	ANÁLISIS INFRARROJO CON TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR).....	50
7.11	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	51
8.	<u>RESULTADOS</u>	52
8.1	CARACTERIZACIÓN DEL BAG.....	52
8.2	PRUEBAS FÍSICAS A LOS POLISACÁRIDOS VEGETALES.....	52
8.3	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE AGUA (ABAG).....	55
8.4	CAPACIDAD DE AGLUTINACIÓN CON AGUA (AGAG).....	57
8.5	CAPACIDAD DE AGLUTINACIÓN CON ORINA (AGOR).....	60
8.6	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE ACEITE (ABAC).....	61
8.7	ANÁLISIS POR ESCANEAMIENTO MICROSCÓPICO DE BARRIDO	63
8.8	ANÁLISIS POR ESPECTROSCOPIA INFRARROJA (FTIR).....	67
9.	<u>DISCUSIÓN</u>	69
9.1	CARACTERIZACIÓN DEL BAG.....	69
9.2	PRUEBAS FÍSICAS A LOS POLISACÁRIDOS VEGETALES.....	70
9.3	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE AGUA (ABAG).....	70
9.4	CAPACIDAD DE AGLUTINACIÓN CON AGUA (AGAG) Y AGLUTINACIÓN CON ORINA (AGOR) 72	
9.5	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN CON ACEITE (ABAC)	74
9.6	ANÁLISIS POR ESCANEAMIENTO MICROSCÓPICO DE BARRIDO	75
9.7	ANÁLISIS POR ESPECTROSCOPIA INFRARROJA (FTIR).....	76
10.	<u>CONCLUSIONES</u>	77
11.	<u>VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS</u>	77
12.	<u>CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS</u>	77



13. ACTIVIDADES DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA	79
14. BIBLIOGRAFÍA.....	87



Índice de figuras

Figura 2-1. Distribución de algunas variedades de <i>agaves</i> en México. _____	16
Figura 2-2. Distribución e ilustración de <i>Agave inaequidens</i> en naranja y <i>Agave marmorata</i> en verde. _____	17
Figura 2-3. Generación de residuos por la elaboración de mezcal. _____	19
Figura 2-4. estructura parcial de la lignina. _____	20
Figura 2-5. Representación de la estructura y disposición de los grupos funcionales en la celulosa. _____	21
Figura 2-6. Usos y alternativas de aprovechamiento para el bagazo de agave. _	24
Figura 2-7. Presentaciones comerciales de materiales absorbentes a) material pulverizado, b) rollos, c) cojines y d) barreras. _____	26
Figura 2-8. Esquema del mecanismo de absorción de agua por un polímero súper absorbente. _____	29
Figura 2-9. a) Esquema que muestra las fuerzas de adhesión y fuerzas de cohesión de la superficie del agua tensión superficial necesarias para la capilaridad, b) representación del fenómeno de capilaridad mediante agua con colorante y servilletas de papel. _____	31
Figura 7-1. Diagrama general de trabajo. _____	38
Figura 7-2. Diagrama para la extracción de polisacáridos derivados del mucilago de nopal. _____	45
Figura 8-1. Comportamiento reológico de la solución de mucilago de nopal al 10 % en glicerol, los cuadros de colores indican el incremento de la velocidad de acuerdo al tiempo, morado 10 rpm, azul 20 rpm y verde 30 rpm. _____	53
Figura 8-2. Comportamiento reológico Newtoniano de la solución goma guar al 10 % en glicerol, los cuadros de colores indican el incremento de la velocidad de acuerdo al tiempo, morado 10 rpm, azul 20 rpm y verde 30 rpm. _____	54
Figura 8-3. Capacidad de absorción de agua de los biopolímeros de bagazo de <i>Agave inaequidens</i> . Biopolímeros en donde los números indican los porcentajes de bagazo de <i>Agave</i> (BAG), mucilago de nopal (MN) y goma guar (GG). _____	55
Figura 8-4. Absorción de agua. (a) BAG100, (b) BAG75/GG25, (c) BAG50/GG50, (d) BAG25/GG75. _____	56
Figura 8-5. Porcentajes de aglutinación con agua de los biopolímeros absorbentes de bagazo de <i>Agave inaequidens</i> . Biopolímeros en donde los números indican el porcentaje de bagazo de <i>Agave</i> (BAG), mucilago de nopal (MN) y goma guar (GG). _____	58
Figura 8-6. Características físicas de las partículas de los biopolímeros con goma guar: a y a1 BAG75/GG25; b y b1 BAG50/GG50; c y c1 BAG25/GG75. _____	59
Figura 8-7. Porcentajes de aglutinación con orina de los biopolímeros absorbentes de bagazo de <i>Agave inaequidens</i> . Biopolímeros en donde los números indican el	



porcentaje de bagazo de *Agave* (BAG), mucilago de nopal (MN) y goma guar (GG). _____ 61

Figura 8-8. Capacidad de absorción de aceite vegetal de los biopolímeros absorbentes de bagazo de *Agave inaequidens*. Biopolímeros en donde los números indican el porcentaje de bagazo de *Agave* (BAG), mucilago de nopal (MN) y goma guar (GG). _____ 62

Figura 8-9. Estructura macroscópica y microscópica del bagazo de *Agave inaequidens* y los biopolímeros BAG75/GG25, BAG75/MN25, BAG50/MN50 y BAG25/GG75. Las flechas azules señalan los espacios porosos, las amarillas la superficie de las fibras y las verdes la cubierta de polisacárido vegetal. _____ 66

Figura 8-10. Espectro infrarrojo del bagazo de *Agave inaequidens* en verde y biopolímeros BAG75/GG25 en rosa y BAG75/MN25 en azul. _____ 68

Índice de tablas

Tabla 2-1. Composición porcentual de celulosa, hemicelulosa y lignina del bagazo de algunas especies de *Agave*. _____ 19

Tabla 7-1. Estrategia para la síntesis de los biopolímeros absorbentes de bagazo de *Agave inaequidens* _____ 48

Tabla 8-1. Caracterización química del BAG de *Agave inaequidens*. _____ 52

Tabla 9-1. Biopolímeros absorbentes de agua a base de fuentes naturales ____ 72

Tabla 9-2. Biopolímeros absorbentes de aceite a base de fuentes naturales ____ 74

Tabla 9-3. Capacidad de absorción de aceite por algunas fibras naturales. ____ 75



Tabla de acrónimos

AbAc	Capacidad de absorción de aceite
AbAg	Capacidad de absorción de agua
AgAg	Capacidad de aglutinación con agua
AgOr	Capacidad de aglutinación con orina
BAG	Bagazo de agave
BAG100	Biopolímero de bagazo de <i>A. inaequidens</i> 100%
BAG75/GG25	Biopolímero con 75% de bagazo y 25% de goma guar
BAG75/MN25	Biopolímero con 75% de bagazo y 25% de mucilago de nopal
BAG50/GG50	Biopolímero con 50% de bagazo y 50% de goma guar
BAG50/MN50	Biopolímero con 50% de bagazo y 50% de mucilago de nopal
BAG25/GG75	Biopolímero con 25% de bagazo y 75% de goma guar
BAG25/MN75	Biopolímero con 25% de bagazo y 75% de mucilago de nopal
CH	Capacidad de hinchamiento
FTIR	Espectroscopia infrarroja
GG	Goma guar
MN	Mucilago de nopal



Resumen

La elaboración del mezcal, genera residuos como el bagazo de agave (BAG), que es desechado en tiraderos a cielo abierto y rara vez dispuesto en rellenos sanitarios o adecuadamente composteado. Actualmente, para el BAG existen diversas alternativas de aprovechamiento como: la transformación en materiales de valor tecnológico o en la síntesis de un biopolímero absorbente, mezclado con polisacáridos vegetales. El objetivo de este trabajo fue sintetizar un biopolímero absorbente y aglutinante de líquidos de bagazo de *A. inaequidens*, con propiedades comparables con la bentonita. Para ello, los biopolímeros se sintetizaron al mezclar polisacáridos derivados del mucilago de nopal (MN) y goma guar (GG) en porcentajes de 0, 25, 50 y 75 con BAG, los cuales fueron evaluados mediante las propiedades físicas: absorción de agua (AbAg), absorción de aceite (AbAc), aglutinación con agua (AgAg) y aglutinación con orina (AgOr), mientras que la estructura física de los biopolímeros se analizó por microscopia electrónica de barrido y complementariamente la composición química de cada uno por espectroscopia infrarroja (FTIR).

Los resultados mostraron que, el BAG100 absorbió 4 mL de agua/g y la bentonita 1.6 mL de agua/g. Los biopolímeros mezclados con MN absorbieron entre 0.5 a 2 mL de agua/g, los biopolímeros con GG retuvieron 2 mL de agua/g. En relación a la capacidad de absorción de aceite (AbAc), los biopolímeros disminuyeron su AbAc cuando se incrementó el porcentaje de polisacárido.



En relación a la AgAg, el BAG100 aglutino 39.7%, mientras que la bentonita 73.4%, BAG75/MN25 y BAG75/GG25 aglutinaron 66.5 y 70.6% respectivamente. En relación a la prueba de AgOr el BAG100 registro 39.4%, mientras que la bentonita 68.9%, BAG75/MN25 el 65.1% y BAG75/GG25 el 73.9%.

En el análisis de estructura física, por microscopia del BAG100 se observaron fibras distintas con tamaño de partícula < 1 mm y una superficie porosa del 40%, en la microfotografía de cada biopolímero, se detectó la adhesión de los polisacáridos vegetales en la superficie de las fibras, en tanto el estudio FTIR se identificaron bandas de grupos hidrófilos como: OH (hidroxilo) y COOH (carboxilo). En conclusión, la evidencia de las propiedades físicas y químicas del BAG indican que tiene potencial para la síntesis de materiales absorbentes de líquidos, los biopolímeros podrían sustituir a la bentonita, además los absorbentes de BAG de *A. inaequidens* son degradables.

Palabras clave: *Agave inaequidens*, absorción, aglutinación, líquidos, goma guar, mucilago de nopal y bentonita.



Abstract

The production of mezcal generates waste such as agave bagasse (BAG), which is disposed of in open-air dumps and rarely in landfills or properly composted. Currently, there are several alternatives for using BAG, such as: the transformation into materials of technological value or synthesis of an absorbent biopolymer, mixed with vegetable polysaccharides. The aim of this work was to synthesize an absorbent biopolymer and liquid binder from bagasse of *A. inaequidens*, with properties similar to bentonite. In that sense for this purpose, the biopolymers were synthesized by mixing polysaccharides derived from nopal mucilage (MN) and guar gum (GG) in percentages of 0, 25, 50 and 75 with BAG, which were evaluated by its physical properties: a) water absorption capacity (AbAg), b) oil absorption capacity (AbAc), c) water agglutination capacity and d) urine agglutination capacity, while the physical structure of the biopolymers was analyzed by scanning electron microscopy and complementary by its chemical composition of each one by infrared spectroscopy (FTIR).

The results showed that, BAG100 absorbed 4 mL of water/g and bentonite 1.6 mL of water/g; biopolymers mixed with MN absorbed 0.5 to 2 mL water/g, biopolymers with GG retained 2 mL water/g. In relation to the oil absorption capacity (AbAc), biopolymers decreased their AbAc when polysaccharide inclusion is increased.



Related to the capacity of agglutination with water (AgAg), BAG100 agglutinated 39.7%, while bentonite 73.4%, BAG75/MN25 and BAG75/GG25 agglutinated 66.5 and 70.6% respectively. While to the urine agglutination test, BAG100 registered 39.4%, compared to bentonite 68.9%, BAG75/MN25 65.1% and BAG75/GG25 73.9%.

The analysis of physical structure, in of the BAG100 by microscopy indicated different types of fibers with particle size < 1 mm and a porous surface of 40%, in the microphotographs of each biopolymer, adhesion of vegetal polysaccharides was detected in at surface of the fibers, while the FTIR analysis study identified bands for hydrophilic groups like: OH (hydroxyl) and COOH (carboxyl). In conclusion, the evidence showed that of the physical and chemical properties of BAG indicate that they potential for the synthesis of liquid absorbent materials, biopolymers could substitute bentonite, these materials made by BAG of *A. inaequidens* are cheap and degradable.

Keywords: *Agave inaequidens*, absorption, agglutination, liquids, guar gum, nopal mucilage and bentonite



1. INTRODUCCIÓN

Los destilados de agave como el mezcal y el tequila son bebidas representativas de México. La elaboración de ambas bebidas es similar, la diferencia se establece de acuerdo a las especies de agaves y la región en donde se elaboran (Carrillo-Trueba, 2007). En la producción del mezcal se generan el bagazo de agave (BAG), así como las vinazas.

El BAG es una fibra de color café y olor característico a mezcal; químicamente está compuesto por celulosa en 47 %, lignina en 20 % y hemicelulosas en 33 % (Hidalgo-Reyes *et al.*, 2015). El BAG contiene grupos funcionales hidrófilos: OH (hidroxilos) y COOH (carboxilos) (Íñiguez *et al.*, 2011).

Actualmente entre las posibles alternativas de aprovechamiento del BAG se señalan: la transformación en materiales de valor tecnológico (Chávez-Guerrero, 2010), en la síntesis de enzimas lignocelulolíticas (González, 2005), como soporte inerte de cultivo para plántulas y para composteo con fines agrícolas (Rodríguez *et al.*, 2010).

Las aplicaciones de los polímeros absorbentes a base de materia orgánica e inorgánica abarcan: la medicina, la agricultura, los alimentos y los materiales de uso doméstico como pañales y toallas femeninas (Ahmed, 2015). Como absorbente de literas higiénicas para mascotas domésticas es la bentonita sódica (Vaughn *et al.*, 2011), una arcilla cuyo constituyente mayoritario es la montmorillonita (Carriazo *et al.*, 2007).



Una alternativa no explorada es el aprovechamiento de materiales lignocelulósicos en la transformación en un biopolímero absorbente. Aunque, los reportes sobre este tópico son escasos; Vaughn *et al.*, (2011) reportaron que, de materiales lignocelulósicos de granos de maíz, mezclados con GG, genera biopolímeros absorbentes de agua. Aunque se ignora si otras fuentes de lignocelulosa como el BAG mezcalero podrían emplearse para absorber líquidos.

Con base en lo anterior la hipótesis de este trabajo fue que la inclusión de polisacáridos vegetales: GG y MN con BAG genera un biopolímero absorbente y aglutinante, comparable a la bentonita. Por lo que, el objetivo de este trabajo fue obtener un biopolímero con capacidad absorbente de BAG, por inclusión de polisacáridos: GG y MN.



2. MARCO TEÓRICO

2.1 AGAVE MEXICANO

Los agaves son plantas perennes, xerófitas, monocotiledóneas, pertenecientes a la familia *Asparagaceae* de la subfamilia *Agavoideae*. (García-Mendoza & Galván, 1994). La distribución del género *Agave* se asocia a las regiones con climas secos, templados, las altas temperaturas, escasa precipitación, se distribuye entre los 1000 y 2000 msnm. Los agaves, existen desde el sur de los Estados Unidos de América, México (Figura 2-1), hasta Colombia y Venezuela, e incluso las islas del caribe (Montes-Vasquez, 2014).

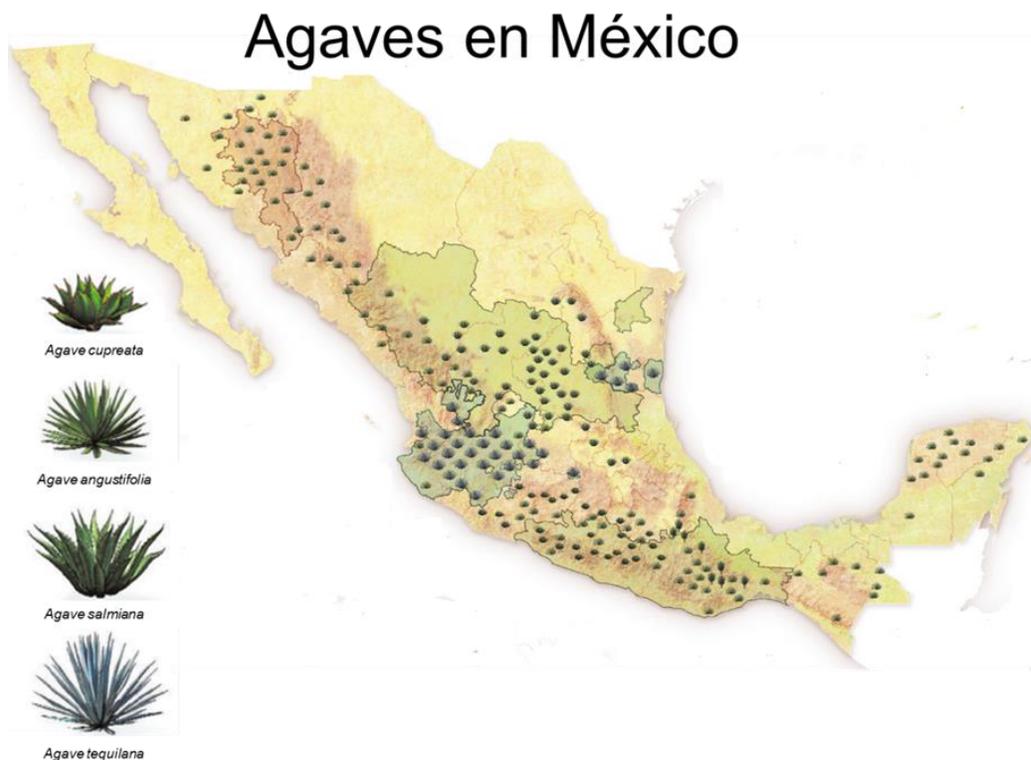


Figura 2-1. Distribución de algunas variedades de agaves en México.



El *Agave inaequidens* crece en suelos abiertos entre los pinares y encinares del eje Neo volcánico, en el centro del país (Figura 2-2). En Michoacán se conoce como agave largo, alcanza los 2.5 m de ancho y 1.5 m de alto, las hojas son onduladas de color verde claro a amarillo, la inflorescencia es ramificada de hasta 7 m de alto, florea de diciembre a marzo y se reproduce por semilla (CONABIO, 2018).



Figura 2-2. Distribución e ilustración de *Agave inaequidens* en naranja y *Agave marmorata* en verde.

2.2 EL MEZCAL

De acuerdo con la NOM-070-SCFI-2016. Bebidas alcohólicas-Mezcal-Especificaciones, “el mezcal es una bebida alcohólica destilada mexicana, 100 % de maguey o agave, obtenida por destilación de jugos fermentados con microorganismos espontáneos o cultivados, extraídos de cabezas maduras de magueyes o agaves cocidos, cosechados en el territorio comprendido dentro de la Denominación de Origen” (DOF, 2016).



La elaboración de mezcal debe poseer al menos las siguientes etapas y herramientas: a) cocción: cocimiento de cabezas o jugos de maguey o agave en hornos de pozo, mampostería o autoclave, b) molienda: tahona, molino chileno o egipcio, trapiche, desgarradora, tren de molinos o difusor, c) fermentación: recipientes de madera, piletas de mampostería o tanques de acero inoxidable y d) destilación: alambiques, destiladores continuos o columnas de cobre o acero inoxidable (DOF, 2016).

2.3 RESIDUOS GENERADOS POR LA PRODUCCIÓN DE MEZCAL

En la elaboración del mezcal se generan 2 residuos, cada uno con características organolépticas y volúmenes de producción variable; El BAG se genera de la cocción y molienda de las piñas de agave como se esquematiza en la Figura 2-3, mientras que, las vinazas son el producto de la destilación de las mieles fermentadas (CRM, 2018). Se estima que por cada litro de mezcal se generan de 15 a 20 kg de BAG húmedo y de 7 a 11 L de vinazas (Colunga-Marín *et al.*, 2007). Existe una generación de BAG 59,778 t/año y de vinazas con 27,896,547 L/año: datos calculados en la producción nacional de mezcal en el año 2017 por la estimación de BAG y vinazas producidos.



Figura 2-3. Generación de residuos por la elaboración de mezcal.

2.3.1 COMPOSICIÓN DEL BAGAZO DE AGAVE MEZCALERO

El bagazo es el producto de la molienda de las piñas cocidas; contiene lignina en 15 %, celulosa en 48 %, hemicelulosa en 20 %, pectina en 10 % y componentes inorgánicos en 2 % (Flores *et al.*, 2017). En la Tabla 2-1 se muestra la constitución de lignocelulosa de bagazo de diferentes especies de agaves.

Tabla 2-1. Composición porcentual de celulosa, hemicelulosa y lignina del bagazo de algunas especies de Agave.

Fuente	Celulosa (% p/p)	Hemicelulosa (% p/p)	Lignina (% p/p)	Referencia
<i>Agave angustifolia</i> (bagazo)	47.0	33.0	20.0	Hidalgo-Reyes <i>et al.</i> , 2015
<i>Agave cupreata</i> (bagazo)	48.0	19.0	15.0	Castillo, 2014
<i>Agave salmiana</i> (bagazo)	47.3	12.8	10.1	Li <i>et al.</i> , 2012 en Abreu, 2013
<i>Agave tequilana</i> (bagazo)	43	19	15	Li <i>et al.</i> , 2012 en Abreu, 2013

% = porcentaje; p/p = peso/peso



2.3.1.1 LIGNINA

Químicamente la lignina está compuesta por tres unidades básicas llamadas: p-hidroxifenilo, guayacilo y siringilo, que se unen mediante enlaces covalentes y constituyen la estructura de la lignina, ver la Figura 2-4, estas unidades están derivadas de los llamados monolignoles: (p-cumárico) 4-hidroxicinamílico, (coniferílico) 4-hidroxi-3-metoxicinamílico y (sinapílico) 4-hidroxi-3,5-dimetoxicinamílico (Prinsen *et al.*, 2010).

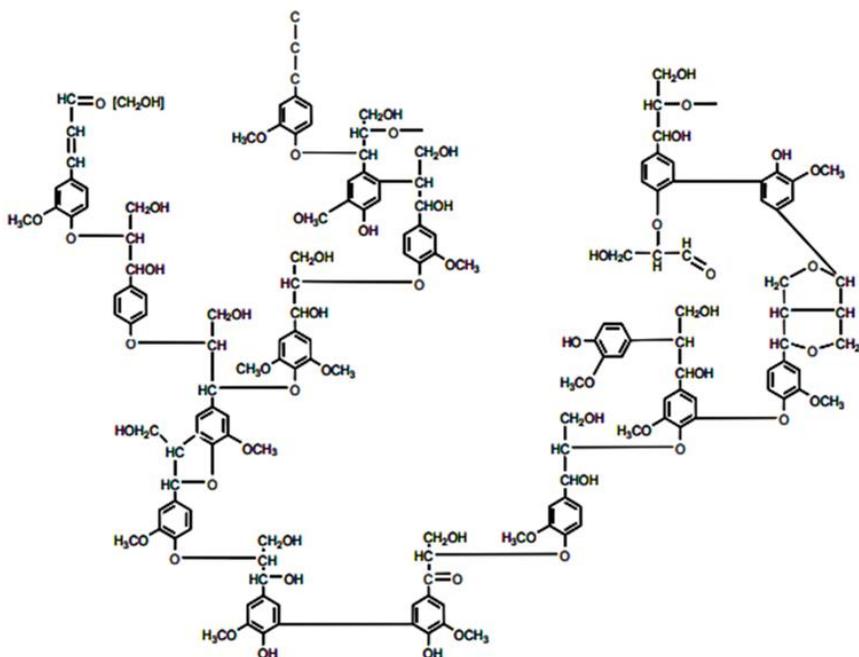


Figura 2-4. Estructura parcial de la lignina.



2.3.1.2 CELULOSA

La celulosa es un homopolisacárido no ramificado, formado por monómeros de glucosa unidas por enlaces glucosídicos de tipo β (1 \rightarrow 4). La unidad estructural de la celulosa es la celobiosa, que está compuesta por (D-glucopiranosil- β -1,4-D-glucopiranososa) (Prinsen *et al.*, 2010). Como se observa en la Figura 2-5. En la celulosa, por la disposición espacial de las cadenas de glucosa, se forman agregaciones fibrilares, que son estabilizadas lateralmente por fuerzas de “van der Waals” y por puentes de hidrogeno entre grupos funcionales oxidrilos de moléculas adyacentes. Estas fibrillas se empaquetan entre sí formando unidades mayores denominadas microfibrillas, que a su vez dan lugar a las fibras. (Iraízoz, 2012).

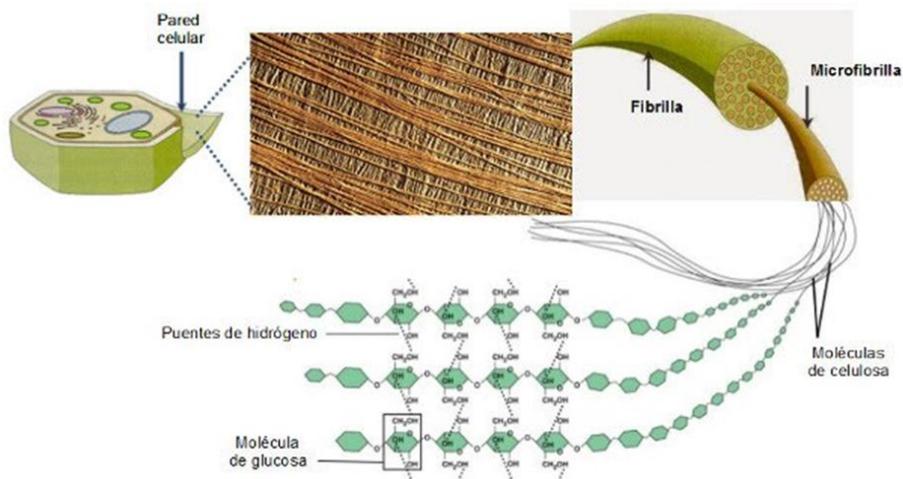


Figura 2-5. Representación de la estructura y disposición de los grupos funcionales en la celulosa.



2.3.1.3 HEMICELULOSA

La hemicelulosa al igual que la celulosa, forma parte de la pared celular de los vegetales y es el segundo polímero orgánico más abundante, estructuralmente consta de pentosas como: D-xilosa, L-arabinosa, hexosas como: D-manosa, D-glucosa, D-galactosa, desoxi-hexosas como: L-ramnosa y ácidos urónicos como: ácido glucurónico y ácido galacturónico. La función principal es interaccionar con la celulosa y lignina para proporcionar rigidez a la pared celular. Las cadenas de hemicelulosas se asocian con las microfibrillas de celulosa por puentes de hidrógeno (Pejo, 2009). Las hemicelulosas son ramificadas y poseen varios grupos polares, por lo que, normalmente son insolubles en agua, pero en medio alcalino se pueden disolver (Prinsen *et al.*, 2010).

2.3.2 LEGISLACIÓN Y GESTIÓN DE LOS RESIDUOS DE LA ELABORACIÓN DE MEZCAL

De acuerdo, a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, un residuo es, “un material cuyo propietario o poseedor desecha en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final” (DOF, 2003).

Los residuos se dividen en 3 categorías:

- a) Sólidos urbanos
- b) Manejo especial
- c) Peligrosos



Un criterio para categorizar un residuo de manejo especial es que sea producido por un generador en una cantidad ≥ 10 t/año y que requiera un manejo específico para la valorización y aprovechamiento. Este criterio es aplicable a uno de los residuos generados por la elaboración del mezcal al BAG, la disposición final para este residuo es un plan de manejo: instrumento cuyo objetivo es minimizar la generación y maximizar la valoración de residuos, en relación al BAG, la mayor parte se maneja por composteo.

2.3.3 MANEJO FINAL Y ALTERNATIVAS DE USO PARA EL BAGAZO DE AGAVE

Las elevadas cantidades generadas del BAG, hacen que la gestión por composteo sea insuficiente y termina en una inadecuada disposición como el cielo abierto. Por su constitución química, el BAG favorece el crecimiento de levaduras, insectos y roedores (Macías *et al.*, 2010). La lignocelulósica del BAG permite alternativas de aprovechamiento biotecnológico (Figura 2-6). Esta investigación se sitúa en la síntesis de biopolímeros de lignocelulosa de BAG.

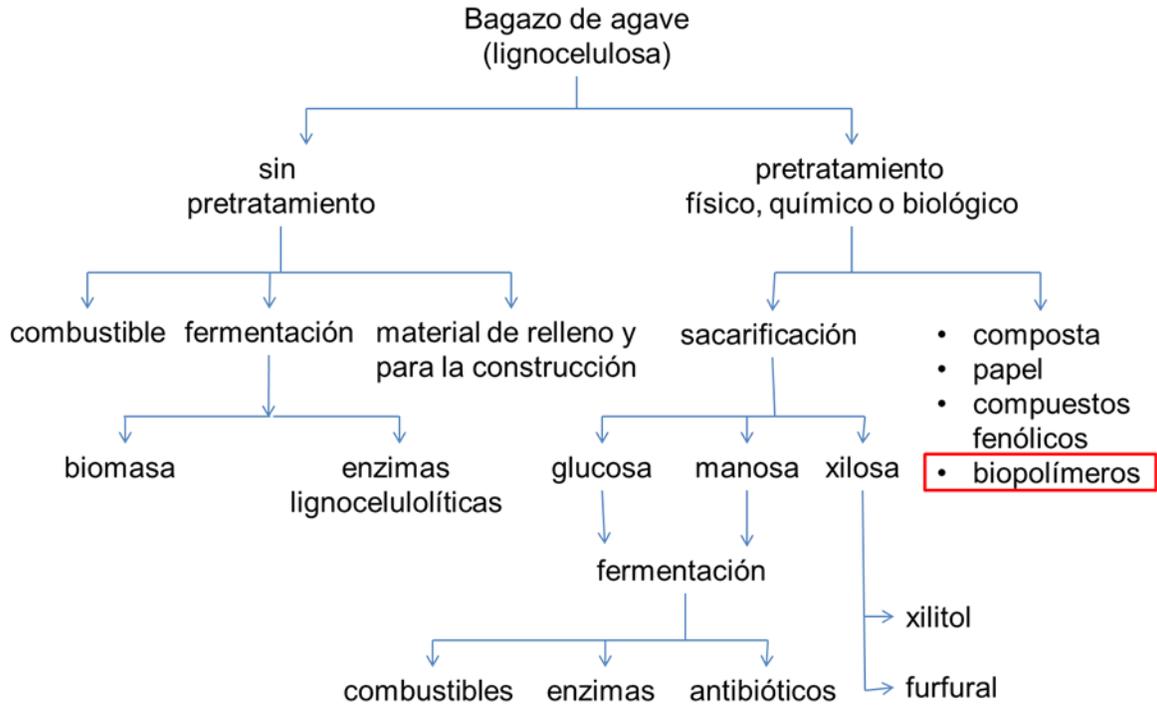


Figura 2-6. Usos y alternativas de aprovechamiento para el bagazo de agave.

a) El BAG es un sustrato en la síntesis fermentativa de enzimas. Por la composición química de: celulosa, hemicelulosa y lignina: se pueden generar enzimas de tipo: celulasas, xilanasas (Huitrón *et al.*, 2008), lacasas (Mutemi-Muthangya *et al.*, 2013), inulinasas y pectinasas (Saval, 2012). El BAG es sustrato para la obtención de monómeros aromáticos como vainillina, resultado de la despolimerización de la lignina (González *et al.*, 2005).



b) El BAG para la generación de bioenergéticos: como biohidrógeno, carbón y biogás (Saval, 2012).

c) Elaboración de biofertilizantes. El BAG mezclado con vinazas, es una alternativa de composteo (Iñiguez *et al.*, 2005). Otro uso es el vermicomposteo. (Sen & Chandra, 2007).

d) Materiales de valor agregado derivados de la lignina. Del BAG se extrae la lignina para la síntesis de los ligno-sulfonatos, se incorpora en resinas fenol-formaldehído, polímeros como poliuretanos-lignina, poliolefinas-lignina y en formulaciones de adhesivos (Chávez-Sifontes & Domine, 2013).

La investigación de este trabajo está enfocada en la obtención de un biopolímero absorbente aprovechando la lignocelulosa del BAG mezclada con polisacáridos vegetales.

2.4 MATERIALES ABSORBENTES

Los materiales absorbentes son polímeros que poseen una estructura tridimensional entrecruzada que permite absorber, almacenar y liberar agua y aceite (Guanca *et al.*, 2016).

2.4.1 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MATERIALES ABSORBENTES (PRESENTACIONES COMERCIALES)

Existe una amplia variedad de materiales en lo referente a absorbentes, que se basan en uso y presentación comercial Figura 2-7:

a) Material pulverizado

b) Papeles



- c) Rollos
- d) Cojines
- e) Barreras

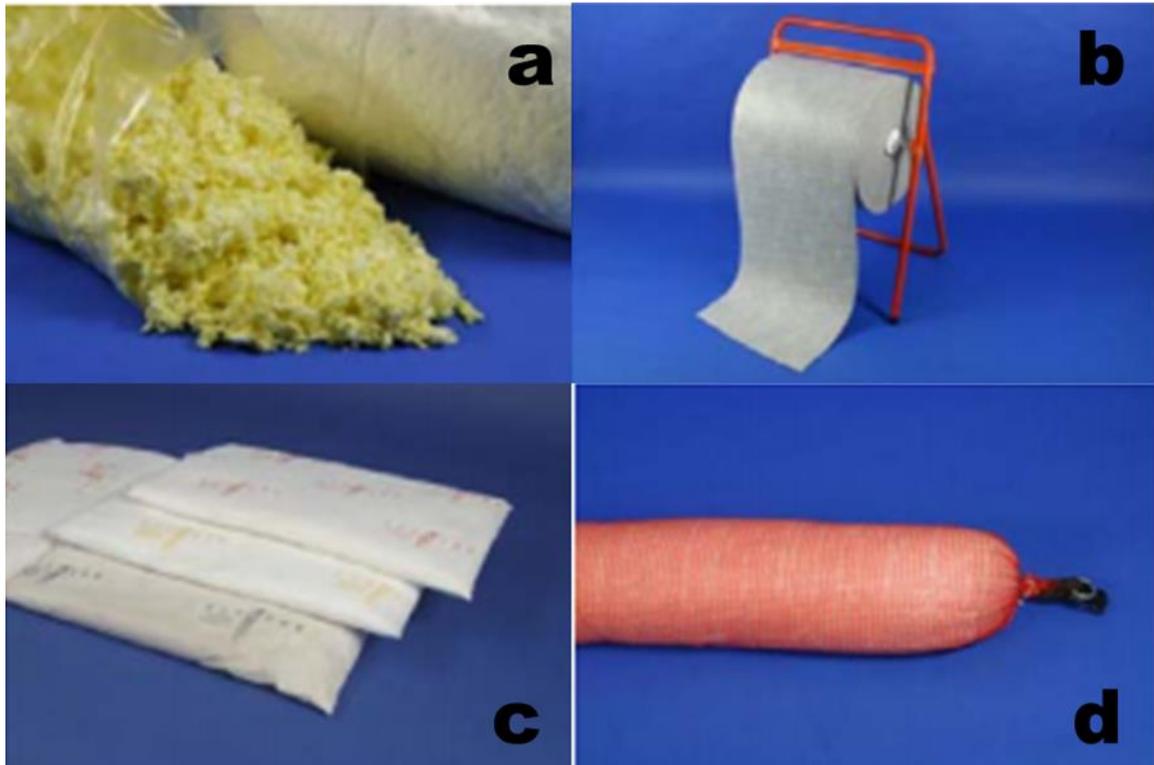


Figura 2-7. Presentaciones comerciales de materiales absorbentes a) material pulverizado, b) rollos, c) cojines y d) barreras.

2.4.2 PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS MATERIALES ABSORBENTES

Las propiedades físicas de los materiales absorbentes, son consecuencia de las propiedades químicas:

- a) Algunos de los materiales con capacidad de absorber líquidos más usados son los polímeros súper absorbentes, que generalmente son sales sódicas de poliácido acrílico entrecruzado como los copolímero de poli acrilato y poliacrilamida.



La capacidad de absorción se debe a los grupos de $\text{COO}^- \text{Na}^+$ (carboxilatos de sodio), que en presencia de H_2O liberan el Na y captan las moléculas de H_2O , formando puentes de H (Crespo & Lancha, 2011).

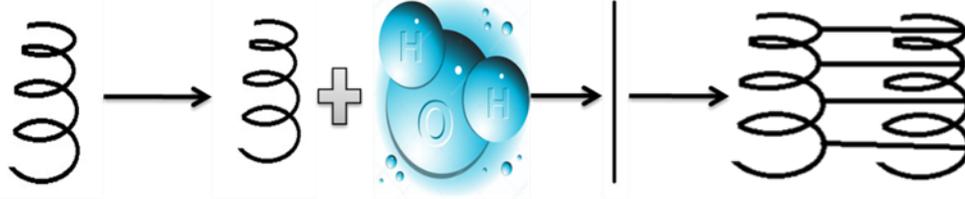
- b) La propiedad hidrófila es debido por la estructura molecular de grupos funcionales hidrófilos, por ejemplo: OH^- (hidroxilo), COOH (carboxilo), CONH , CONH_2 (amida), SO_3H (sulfónico) (Katime *et al.*, 2005).
- c) La insolubilidad en agua es originada por la existencia de una red tridimensional en la estructura polimérica; este entrecruzamiento es por fuerzas como puentes de H, enlaces covalentes, iónicos y fuerzas de van der Waals (Bruck, 1973 en Katime *et al.*, 2005). El estado de equilibrio del absorbente hinchado, se debe al balance entre las fuerzas osmóticas originadas por el agua al entrar en la red macromolecular y las fuerzas de los enlaces, ejercidas por las cadenas macromoleculares que se oponen a esa expansión (Katime *et al.*, 2005).

2.4.3 MECANISMOS PARA LA ABSORCIÓN DE AGUA

El mecanismo por el que los polímeros absorben soluciones acuosas, es físico, por la naturaleza química de los compuestos. Entre las fuerzas que contribuyen al hinchamiento, se encuentran la energía libre de mezcla y la respuesta elástica del entrecruzamiento, aunque también existen polímeros que tienen en la estructura unidades ionizables, es decir que poseen iones. Así, cuando un polímero de estas propiedades se introduce en un ambiente acuoso, las unidades iónicas se disocian y crean una densidad de carga a lo largo de las cadenas y una elevada densidad de iones en el gel.

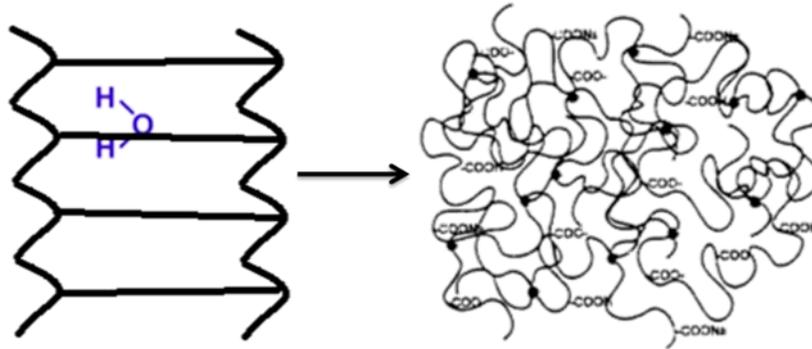


Este carácter iónico genera nuevas fuerzas que condicionan el hinchamiento; Por un lado, la diferencia entre la concentración de iones entre el gel hinchado y la solución externa causa una presión osmótica, es decir la fuerza que debe aplicarse sobre una solución cuando se necesita frenar el flujo por medio de una membrana de propiedades semipermeables, que sólo puede reducirse a través de la dilución de carga, es decir, por el hinchamiento del gel, y por otro, la densidad de carga neta entre las cadenas que genera repulsiones electrostáticas que tienden a expandir el gel, lo que contribuye a la absorción y el hinchamiento ver la Figura 2-8 (Ochoa Cauticio, 2014).



1. Ovillo rizado

2. Al entrar en contacto con el agua, estas se despliegan y enderezan, las moléculas de agua se unen transversalmente las hebras del polímero, adquieren una consistencia viscosa y conforman una red tridimensional.



3. Conforme los grupos hidrófilos del polímero se ionizan, el agua es atraída hacia la red, por una presión osmótica, debida a la neutralización de los grupos hidrófilos del polímero e hinchamiento del mismo.

Figura 2-8. Esquema del mecanismo de absorción de agua por un polímero súper absorbente.

Otro mecanismo por el que algunos materiales absorben agua es mediante capilaridad, que es movimiento de un líquido por conductos estrechos llamados capilares; la capilaridad es una propiedad física que, se genera por la interacción de las fuerzas de adhesión o de atracción, que ejercen las moléculas de las paredes del conducto sobre las moléculas del líquido y por la tensión superficial que tiende a elevar el nivel del líquido.



En la Figura 2-9, se muestra un ejemplo para evidenciar este fenómeno: las servilletas, las esponjas y el algodón poseen cientos de pequeños conductos con aire, a través de los cuales los líquidos se mueven por capilaridad (Morales, 1995).

Un mecanismo más, es la capacidad de los polisacáridos y las proteínas para la formación de geles, que son una asociación de moléculas que se entrecruzan mediante enlaces covalentes y no covalentes, para formar una red tridimensional capaz de retener agua, la cual está relacionada con la capacidad que tienen los grupos OH (hidroxilo) para establecer puentes de H con el agua y absorberla por imbibición (Badui, 2006).

Los absorbentes a base de fibras naturales como la lignocelulosa, en contacto con el agua no se dispersan, se hinchan o la retienen en la matriz estructural, por fuerzas iónicas y por algunos polisacáridos que tienen una capacidad hidrofílica por grupos polares (Chamorro & Mamani, 2010).

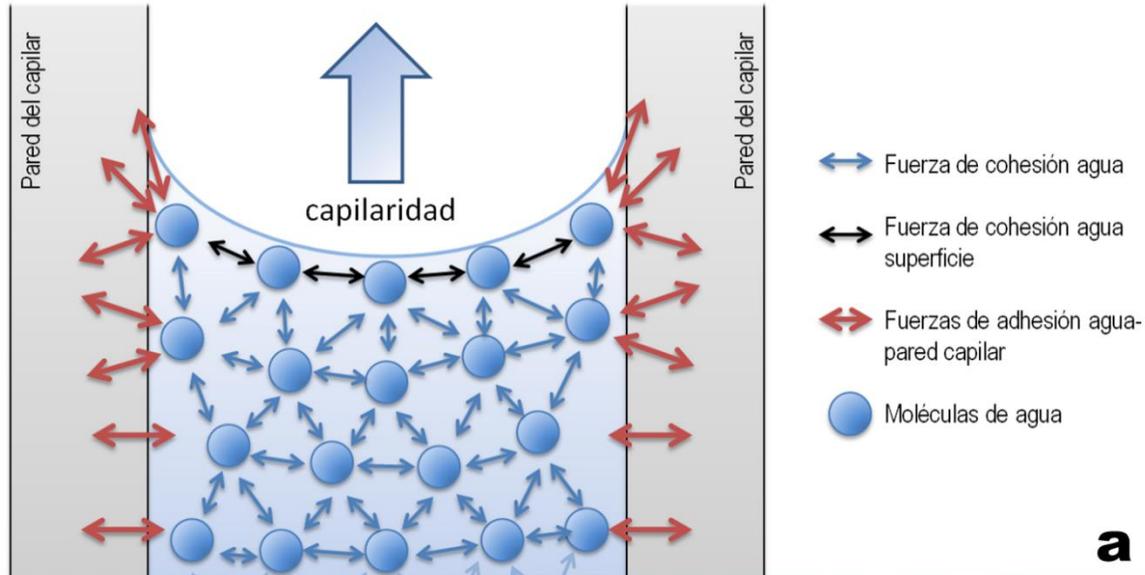


Figura 2-9. a) Esquema que muestra las fuerzas de adhesión y fuerzas de cohesión de la superficie del agua tensión superficial necesarias para la capilaridad, b) representación del fenómeno de capilaridad mediante agua con colorante y servilletas de papel.

2.4.4 AGENTES GELIFICANTES

Generalmente son proteínas o polisacáridos, que en contacto con algún líquido tienen la capacidad de formar una red tridimensional dentro del líquido y genera geles.



Esto último, es lo que se busca coadyuve a la fibra del BAG para la absorción y retención de líquidos, a continuación, algunos ejemplos:

- Goma guar (GG) es un polvo fino de color beige, posee una alta capacidad para absorber agua y formar gel, es insoluble en alcohol y proporciona viscosidad en solución. Está constituido por D-galactosa y D-manosa: galactomananos, se extrae del endospermo de la semilla de 2 leguminosas *Cyamopsis tetragonolobus* y *C. psoraliodes* (Codagnone *et al.*, 2004).
- Mucilago de nopal (MN) es un biopolímero no ramificado, es un agente gelificante, espesante, emulsificante, puede formar redes moleculares y retener agua (Rodríguez – González *et al.*, 2011); Está constituido por arabinosa en 47 %, xilosa en 23 %, galactosa en 18 %, ramnosa en 7 % y ácido galacturónico en 5 % (Sepúlveda *et al.*, 2007).
- Goma xantana es el compuesto de la fermentación de *Xantomonas campestris*, es soluble en agua caliente o fría, se hidrata rápidamente, dispersa y facilita la retención de agua, genera soluciones viscosas (Pasquel, 2011).
- Alginato es un polisacárido extraído de las algas cafés, constituido por los ácidos β -D-manurónico y α -L-gulurónico, tiene propiedades para formar geles y soluciones viscosas, por lo que, se emplea en la industria alimenticia y farmacéutica (Hernández-Carmona *et al.*, 2012).



2.4.5 MECANISMOS PARA LA ABSORCIÓN Y ADSORCIÓN DE ACEITE

Conocida también como la capacidad de retención de aceite, es el mayor volumen de aceite, que es retenido por gramo de material seco en presencia de un exceso de aceite, por acción de fuerzas externas (Chamorro & Mamani, 2010). Los mecanismos para recuperar aceite, puede ser mediante procesos de absorción, adsorción o ambas. En los absorbentes el aceite entra en los poros del material, mientras que los adsorbentes, atraen el aceite a sus superficies, pero no penetra en su interior (Jiménez Villadiego *et al.*, 2012).

La fibra insoluble, por sus partículas de amplia superficie posee capacidad para absorber y retener sustancias de naturaleza grasosa; el aceite es atrapado en la superficie de la fibra principalmente por medios mecánicos (Chamorro & Mamani, 2010).



3. ANTECEDENTES

Los polímeros absorbentes son una alternativa para las fibras naturales, se han realizado investigaciones del tipo absorbentes de fuentes vegetales como los polisacáridos, las proteínas y la lignocelulosa. Los más estudiados se basan en derivados de celulosa, quitina, almidón, goma xantana, goma guar y alginatos (Cordobés *et al.*, 2016).

Los reportes sobre la transformación de la lignocelulosa como material absorbente son escasos, a continuación, se citan algunos ejemplos:

Brewer, (1974) diseñó un sustrato de litera higiénica para mascotas domésticas, molió y tamizó alfalfa, el tamaño de partícula fue de 2.54 a 12.7 mm, del mismo modo trató la bentonita. Ambos materiales los mezcló por volteo con melazas de maderas como agente gelificante; se obtuvo un producto con una AgAg del 60 %.

House, (1993) preparó un material absorbente a base de una mezcla de celulosa que extrajo de cáscaras de avena o arroz, las mezcló con minerales de esmécticas, el tamaño de partícula de ambos materiales osciló entre los 0.25 a 2 mm; la mezcla alcanzó una AbAg de 1.25 mL/g de muestra.

Kiebke, (1994) sintetizó una mezcla para litera higiénica para mascotas domésticas, usó trigo con un tamaño de partícula entre 0.177 a 2.38 mm, que mezcló con bicarbonato de sodio como desodorizante, en una concentración del 5 % y mazorcas de maíz con un tamaño de partícula entre 0.177 a 0.841 mm, estas últimas impregnadas de fragancia de hierba gatuna, como atrayente.



Kory & Hall, (2000) diseñaron una mezcla absorbente y aglutinante a base de maíz, emplearon granos de maíz, con una densidad de 480 mg/mL y un tamaño de partícula que va desde los 0.595 a los 2 mm que mezclaron con paja y medula de mazorca de maíz, con una densidad de 368 mg/mL y un tamaño de partícula que ronda desde los 0.250 a los 2 mm, posteriormente, para reducir el polvo adicionaron aceite mineral en un 4 % p/p y finalmente agregaron la goma guar en un 7% p/p.

Vaughn *et al.*, (2011) obtuvieron una formulación de sustrato de litera higiénica para mascotas domésticas, utilizaron granos de maíz, con un tamaño de partícula de 1 mm y los mezclaron con una solución de goma guar en glicerol al 10%, en proporciones de 1:0.10, 1:0.25, 1:0.50 y 1:1, los materiales alcanzaron una AbAg de 2.17 a 2.47 mL de agua/g y una AgAg de 45.8 %.

Se desconoce si el bagazo de agave mezcalero es susceptible a una transformación física y obtener un biopolímero absorbente y aglutinante, proceso que puede ser considerado como innovación tecnológica y una oportunidad para la valorización de un residuo agroindustrial.



4. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es el nivel de inclusión de polisacáridos vegetales GG y MN con BAG, para obtener un biopolímero con capacidad absorbente y aglutinante, comparable a la bentonita?

5. HIPÓTESIS

La inclusión de polisacáridos vegetales GG y MN con BAG genera un biopolímero con capacidad de absorbente y aglutinante, comparable a la bentonita.

6. OBJETIVOS

6.1 OBJETIVO GENERAL

Obtener un biopolímero con capacidad absorbente y aglutinante de BAG, por inclusión de polisacáridos vegetales GG y MN.

6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Caracterizar fisicoquímicamente el BAG.
- ✓ Probar porcentajes de inclusión de polisacáridos vegetales con BAG.
- ✓ Caracterizar las propiedades fisicoquímicas de los biopolímeros con capacidad absorbente y aglutinante
- ✓ Determinar la mezcla de polisacáridos vegetales con BAG comparable a la bentonita.



7. MATERIALES Y MÉTODOS

El plan de trabajo a emplear en este proyecto se dividió en tres fases y actividades que se mencionan a continuación:

Fase I. Preparación del BAG

Actividad 1. Recolección de la muestra de BAG

Actividad 2. Caracterización físico-química del BAG

Fase II. Transformación del BAG en un biopolímero absorbente de líquidos.

Actividad 1. Selección de los polisacáridos vegetales: GG y MN.

Actividad 2. Síntesis del material absorbente de líquidos a partir de BAG

Actividad 3. Valoración de las propiedades de absorción de líquidos por el bio-absorbente.

Fase III. Resultados y discusión.

Actividad 1. Análisis estadístico de resultados.

Actividad 2. Redacción de tesis.



7.1 DIAGRAMA GENERAL DE TRABAJO METODOLÓGICO

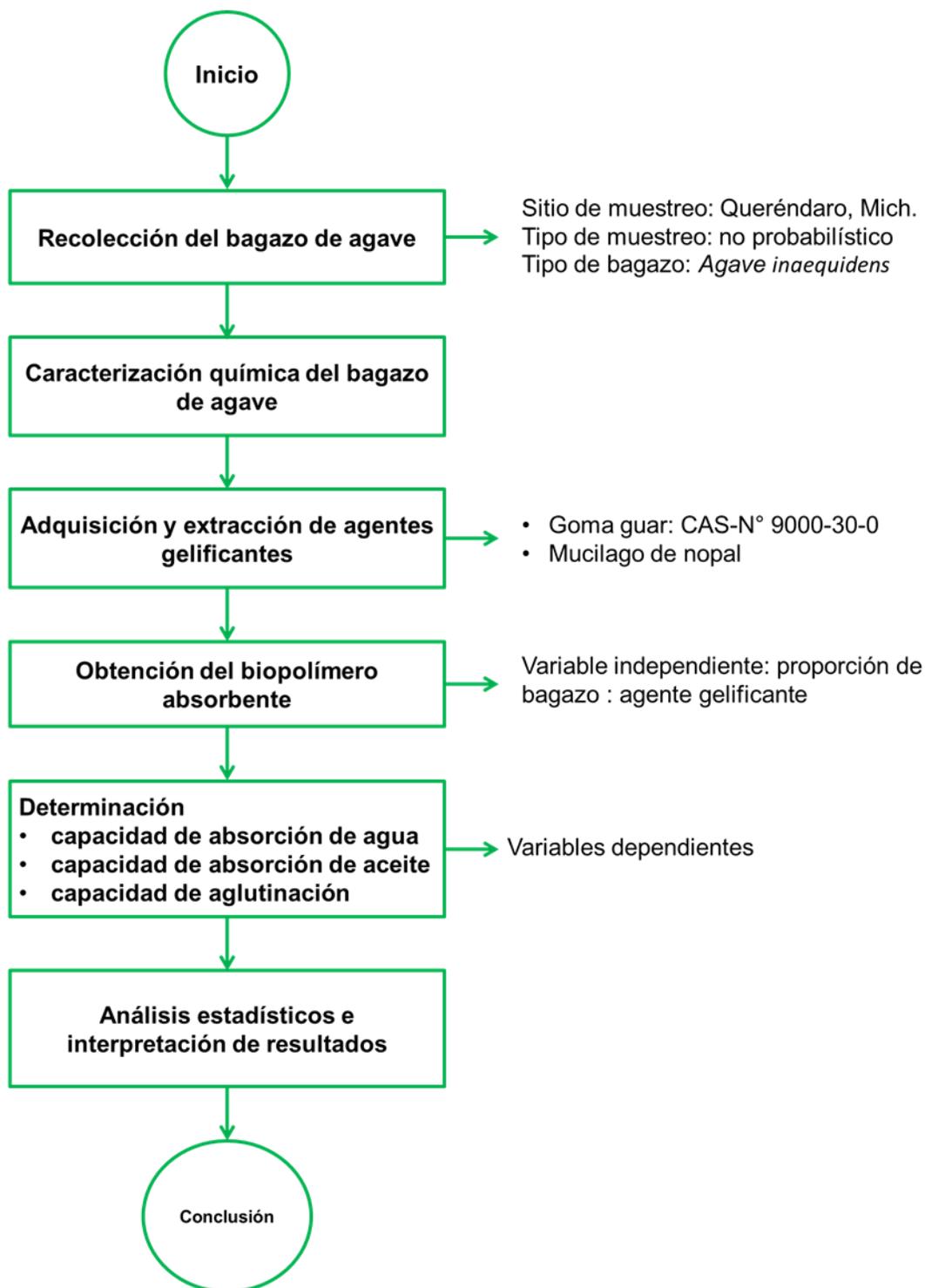


Figura 7-1. Diagrama general de trabajo.



7.2 ELECCIÓN DEL SITIO DE MUESTREO Y TIPO DE MUESTREO DEL BAG

El sitio de colecta fue la vinata del mezcal “MEZCALANTE”, ubicada en Rio de Parras municipio de Queréndaro, Michoacán, México, la colección del residuo BAG, se realizó por un método de muestreo no probabilístico, por conveniencia ya que la elección de los elementos, fue dependiente de ciertos criterios como la especie del agave utilizado, en esta investigación se empleó BAG de *A. inaequidens*.

7.3 COLECCIÓN Y MANEJO DEL BAG

El BAG de *A. inaequidens* se colectó del depósito de la destiladora, se usaron guantes, se pesaron aproximadamente 10 kg en una báscula portátil, se colocaron sobre una rejilla elevada dentro de una caja de plástico, para evitar la humedad y escurriera durante el traslado de la destiladora en Queréndaro, al laboratorio de residuos sólidos y uso eficiente de la energía en San Juanito Itzícuaru, la caja de plástico fue etiquetada con el lugar de colecta, fecha de la colecta, estado del clima al muestreo, cantidad de bagazo colectada, especie de agave del bagazo y nombre del colector, en el laboratorio fue almacenado en la misma caja, al día siguiente se procedió a la preparación.

7.4 PREPARACIÓN DEL BAG

El BAG fue deshidratado en un deshidratador solar, se troceo y después esterilizado en autoclave a 121 °C/15 min; para eliminar microorganismos que alteran la composición química del BAG, posteriormente se trituró con licuadora (Osterizer^{MR}) y se tamizó con malla del No 20 (0.841 mm).



7.5 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL BAG

7.5.1 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD Y CENIZAS DEL BAG

Determinación de humedad: Se llevaron tres capsulas de porcelana hasta peso constante, se colocaron de tres a cinco gramos de muestra en cada capsula, se calentaron en estufa a 105 °C durante tres horas y se atemperaron, se repitieron los pasos de secado y atemperado hasta peso constante y se realizaron los cálculos correspondientes con forme a la ecuación 1.

Ecuación 1

$$\% \text{ de humedad} = (N * 100) / P$$

Dónde: N = w inicial – w final

w = peso de la muestra

P = peso en gramos de la muestra

Determinación de cenizas: Por triplicado se pesaron cinco gramos de muestra en un crisol ya a peso constante, se carbonizó la muestra con un mechero, se incineró en la mufla a 550 – 600 °C durante tres horas, se atemperó por 30 min y se pesó, el porcentaje de cenizas se realizó por gravimetría como se indica en la ecuación 2.



Ecuación 2

$$\% \text{ de cenizas} = (N \cdot 100) / P$$

Dónde: N = w final – w crisol

w = peso de la muestra

P = peso en gramos de la muestra

7.5.2 DETERMINACIÓN DE EXTRAÍBLES DEL BAG

Se pesó en dedal de extracción de celulosa, con porosidad media o fina (25 x 80 mm, Whatman) seis gramos de bagazo y se colocaron en el aparato de extracción Soxhlet de 500 mL, la temperatura de operación fue de 110 °C, se realizaron extracciones con 200 mL de alcohol etílico al 95 %, seguido de 200 mL de solución etanol-tolueno y finalmente con 200 mL de agua caliente de manera sucesiva por 4 h cada una, se filtraron en un embudo Buchner al vacío con papel filtro # 40 (Whatman), se lavaron con 100 mL de agua caliente y finalmente con 50 mL de alcohol, se secaron a 103 °C en horno por 60 min y se atemperaron en desecador con gel de sílice hasta peso constante (Sun *et al.*, 2000), el contenido de extraíbles fue referido porcentualmente como se muestra en la ecuación 3.

Ecuación 3

$$\text{Harina libre extraíbles} = \frac{\text{peso seco inicial} - \text{peso de la muestra (libre de extraíbles)}}{\text{Peso seco inicial}} * 100$$



7.5.3 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HOLOCELULOSAS DEL BAG

Se colocó 1 g de muestra de harina libre de extraíbles en 3 matraces Erlenmeyer de 125 mL con 50 mL de agua destilada, se adicionaron 0.3 g de NaClO_2 y dos gotas de ácido acético, se taparon los matraces con un vidrio de reloj y se llevaron a baño María a 75 °C por 4 h, se repitió la adición de clorito de sodio y ácido acético cada hora, los matraces se filtraron en un embudo Buchner al vacío con papel filtro # 40 (Whatman), se lavaron con 100 mL agua destilada fría y 10 mL de acetona, las muestras filtradas se secaron a 40 °C hasta obtener peso constante (Wise *et al.*, 1946), el contenido de holocelulosa fue referido porcentualmente como señala la ecuación 4.

Ecuación 4

$$\% \text{ de holocelulosas} = \frac{\text{peso de la muestra (holocelulosas extraída)}}{\text{peso de harina libre de extraíbles}} * 100$$

7.5.4 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE LIGNINA DEL BAG

Se pesaron 3 porciones de 1 g de la muestra de harina libre de extraíbles y se colocaron en matraces Erlenmeyer de 500 mL, se agregaron removiendo lentamente 50 mL de ácido sulfúrico al 72 % a 12-15 °C. Los matraces se cubrieron con plástico adherente y se homogenizaron vigorosamente durante 1 min., se dejaron reposar 2 h a 18-20 °C en un baño de agua, se les añadió 200 mL de agua destilada, se llevaron a ebullición por 5 min.



Se filtraron en un embudo Buchner al vacío con papel filtro # 40 (Whatman) y los residuos se lavaron con 500 mL de agua caliente, finalmente, las muestras fueron secadas hasta peso constante en horno durante 2 h a 103 °C. (Runkel, 1951).

El contenido de lignina fue referido porcentualmente como se especifica en la ecuación 5.

Ecuación 5

$$\% \text{ de Lignina} = \frac{\text{peso de la muestra (lignina extraída)}}{\text{peso de harina libre de extraíbles}} * 100$$

7.6 TRANSFORMACIÓN DEL BAG EN UN BIOPOLÍMERO ABSORBENTE DE LÍQUIDOS

7.6.1 OBTENCIÓN DE POLISACÁRIDOS VEGETALES

7.6.1.1 GOMA GUAR

La goma guar se solicitó a proveedor CAS-N° 9000-30-0 y fue usado como estándar.

7.6.1.2 MUCILAGO DE NOPAL

Los cladodios de nopal se lavaron con agua y jabón, posteriormente se eliminaron tanto cutícula y espinas, se cortaron en trozos de 2 cm² aproximadamente, los trozos de cladodios se pesaron en balanza granataria, después se añadió agua destilada en relación 1:2 (cladodios – agua destilada) y se molieron en licuadora Osterizer^{MR}. La muestra molida se vertió en un recipiente de aluminio (vaporera) y se calentó con una parrilla a 82 ± 2 °C por 1 h.



Terminado el tiempo de calentamiento se atemperó, después se centrifugó a 3 500 rpm/20 min., se recuperó el sobrenadante y se concentró en baño María a 75 °C por 150 min., el sobrenadante se precipitó con etanol al 96 °Gl en una relación de 1:4 mL de sobrenadante – mL de etanol se dejó reposar durante 48 h en el refrigerador a 4 °C., el precipitado se colocó en recipientes de aluminio y se introdujeron en secador solar para deshidratarlo, el MN seco se trituró en mortero, se procesó en licuadora Osterizer^{MR} y por último el MN molido se pesó en balanza como se esquematiza en la Figura 7-2 (Ornelas, 2011).

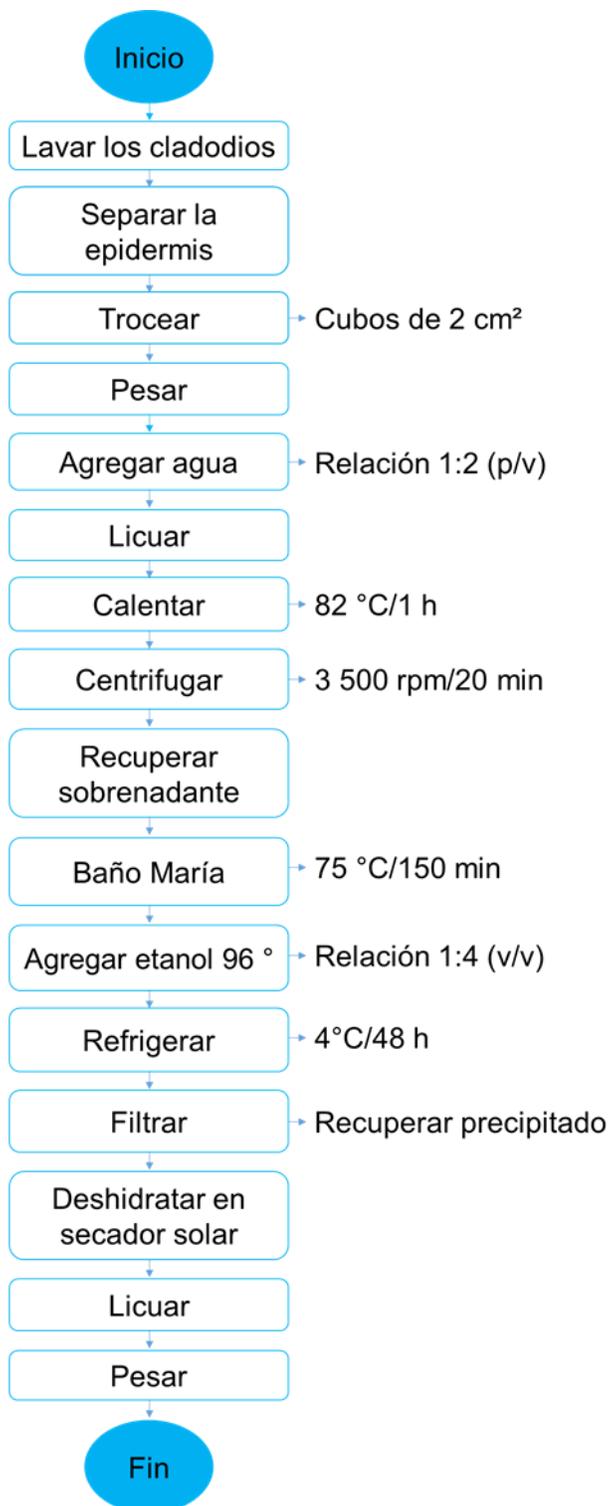


Figura 7-2. Diagrama para la extracción de polisacáridos derivados del mucilago de nopal.



7.7 PRUEBAS FÍSICAS A LOS POLISACÁRIDOS VEGETALES

7.7.1 CONTENIDO DE SÓLIDOS SOLUBLES BRIX (°BX)

Se usó un refractómetro digital ABBE VE-2S, conectado a una bomba de agua, se calibró el equipo con agua destilada hasta la línea de 0 %, se realizó con el tornillo de calibración, la solución de MN y GG al 10 % en glicerina, se colocó en el prisma y se cubrió con la tapa se evitó la formación de burbujas de aire, el valor se observó entre los límites claro y oscuro, el prisma y la tapa se limpiaron después de cada medición realizada, las mediciones se realizaron por triplicado.

7.7.2 DETERMINACIÓN DE VISCOSIDAD

Se realizó prueba reológica de viscosidad de tres réplicas de solución de MN y GG al 10 % en glicerina, se utilizó un viscosímetro Brookfield Rheometer DVET, bajo las siguientes condiciones: se empleó aguja D, velocidades de corte de 10, 20 y 30 rpm con una duración de 3 min. cada velocidad, los resultados se expresaron en centipoise (cP) y se realizaron por triplicado.

7.7.3 CAPACIDAD DE HINCHAMIENTO (CH)

Se tomó 1 g de agente gelificante dentro de una probeta de 25 mL, se registró la altura ocupada en mL, se añadieron 10 mL de agua destilada, se agitó vigorosamente por 5 min; se dejó reposar/ 24 h a temperatura ambiente, finalmente se observó la altura final en mL., la capacidad de hinchamiento se determinó mediante la ecuación 6 (Valencia & Román, 2006)., los resultados se expresaron en mL/g. Las pruebas se realizaron por triplicado.



Ecuación 6

$$CH = \frac{V1 - V0}{\text{peso de muestra}}$$

Dónde: V1 = altura final

V0 = altura gelificante

CH = capacidad de hinchamiento

7.8 PREPARACIÓN DEL MATERIAL ABSORBENTE

El BAG de *A. inaequidens* fue secado en deshidratador solar, molido y tamizado con malla No 20 (0.841 mm), para eliminar a los microorganismos que pudieran degradar los componentes, el BAG se esterilizó a 121°C/15 min., la síntesis de los biopolímeros absorbentes se realizó de acuerdo a Vaughn *et al.*, (2011) con algunas modificaciones, En baño María, en un vaso de precipitados de 1000 mL se calentaron 500 mL de glicerol a 95 °C/30 min, posteriormente, en pequeñas porciones se agregaron 50 g del agente gelificante goma guar (GG) o mucilago de nopal (MN), el glicerol y el agente gelificante se mezclaron a homogeneidad. Luego, se sintetizaron los biopolímeros con porcentajes de 0, 25, 50 y 75 % (p/p) de agente gelificante y el resto de BAG para completar el 100%, la mezcla homogenizada fue secada en horno a 30 °C durante 24 h, se realizaron 6 réplicas por cada biopolímero como se explica en la Tabla 2-1.



Tabla 7-1. Estrategia para la síntesis de los biopolímeros absorbentes de bagazo de *Agave inaequidens*

Bagazo de <i>Agave inaequidens</i> (BAG) (%)	Agentes gelificantes		Replicas
	Glicerol/mucilago de nopal (MN) (%)	Glicerol/goma guar (GG) (%)	
BAG100	0		6
BAG75	MN25	GG25	12
BAG50	MN50	GG50	12
BAG25	MN75	GG75	12

BAG = bagazo de *Agave inaequidens*, MN = mucilago de nopal, GG = goma guar, % = peso/peso

7.9 MEDICIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS BIOPOLÍMEROS ABSORBENTES DE *A. INAEQUIDENS*

7.9.1 CAPACIDAD DE AGLUTINACIÓN CON AGUA (AGAG)

En caja de Petri se colocaron 5 g del biopolímero, con una bureta se dejaron gotear continuamente 5 mL de agua destilada, posteriormente, en horno el biopolímero fue secado a 30 °C/24 h., el contenido de la placa se tamizó en malla 8 (2.38 mm) y las partículas no aglutinadas se desecharon, el porcentaje de aglutinación fue determinado según la ecuación 7 (Vaughn *et al.*, 2011).

Ecuación 7.

$$\% \text{ de aglutinación} = \frac{\text{peso de los grumos aglutinados}}{\text{peso inicial del biopolímero}} * 100$$



7.9.2 CAPACIDAD DE AGLUTINACIÓN CON ORINA (AGOR)

En caja de Petri se pusieron 5 g de biopolímero con una bureta se dejaron escurrir lentamente 5 mL de orina, seguidamente, en horno se secaron a 30 °C/24 h., el contenido de la placa se tamizó en malla 8 (2.38 mm) y las partículas no aglutinadas se despreciaron, los pesos obtenidos se sustituyeron en la ecuación 8 (Vaughn *et al.*, 2011).

Ecuación 8.

$$\% \text{ de aglutinación con orina} = \frac{\text{peso de los grumos aglutinados}}{\text{peso inicial del biopolímero}} * 100$$

7.9.3 CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE AGUA (ABAG)

En tubos para centrifuga de 50 mL se pesaron 2 g de biopolímero, con una probeta se midieron 20 mL de agua destilada y se añadieron al tubo, en vortex los tubos se agitaron por 1 min y luego, en centrifuga marca: Hettich modelo Universal 320R se centrifugaron a 3 000 rpm/30 min., con una probeta se cuantifico el sobrenadante y el valor estuvo dado en mL de agua /2 g de muestra, como se señala en la ecuación 9 (Beuchat., 1977).

Ecuación 9

$$\text{mL de agua/g de muestra} = \text{vol. Inicial de agua} - \text{vol. de agua en la probeta}$$

7.9.4 CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE ACEITE (ABAC)

En tubos para centrifuga de 50 mL se colocaron 2 g de biopolímero, en probeta de 50 mL se cuantificaron 20 mL de aceite vegetal de maíz y se vaciaron al tubo, en vortex se agitaron los tubos por 1 min.



En centrifuga marca: Hettich modelo Universal 320R se centrifugaron a 3 000 rpm/30 min, con una probeta se midió el exceso de aceite y el valor fue expresado en mL de aceite retenido/g de muestra, de acuerdo con la ecuación 10 (Chamorro & Mamani, 2010).

Ecuación 10

mL de aceite/g de muestra = vol. Inicial de aceite – vol. de aceite en la probeta

7.10 ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LOS BIOPOLÍMEROS

7.10.1 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

Se utilizó un equipo JEOL modelo JSM-IT300; en cinta doble cara de carbono se dispersaron fibras de BAG100 y de los biopolímeros absorbentes BAG75/GG25, BAG75/MN25, BAG50/MN50 y BAG25/GG75; las micrografías fueron obtenidas a 200x.

7.10.2 ANÁLISIS INFRARROJO CON TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)

Los espectros de FTIR se realizaron con un espectrómetro Bruker, modelo Tensor 27. No. Serie T27 0680 04; el BAG y lo biopolímeros BAG75GG25 y BAG75MN25 se comprimieron con KBr, los comprimidos se procesaron en el rango de 4000 cm⁻¹ a 400 cm⁻¹., la resolución fue de 4 cm⁻¹ y 32 escaneos, los espectros se corrigieron contra el aire ambiente como fondo.



7.11 DISEÑO EXPERIMENTAL

Los resultados obtenidos de la capacidad de absorción de agua (mL/g), capacidad de absorción de aceite (mL/g) y capacidad de aglutinación (%); En función de los tratamientos usados T₁ BAG/mucilago de nopal y T₂ BAG/goma guar en niveles al 0, 25, 50 y 75 %, fueron analizados mediante un diseño de parcelas divididas, donde el BAG/agente gelificante fue considerado como parcela grande y los niveles de inclusión de cada gelificante la parcela chica, el nivel de confianza fue de 95 % y la comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey (JMP 2013).



8. RESULTADOS

El objetivo de este trabajo fue obtener un biopolímero absorbente y aglutinante de BAG, por inclusión de polisacáridos naturales GG y MN, en esta sección se presentan y discuten los resultados obtenidos.

8.1 CARACTERIZACIÓN DEL BAG

El BAG de *A. inaequidens* se caracterizó en contenido porcentual de extraíbles, holocelulosas, lignina, cenizas y humedad (sección 8.5). El BAG fresco contenía un 83 % de humedad, los valores del resto de los componentes químicos del BAG, se muestran en la Tabla 8-1.

Tabla 8-1. Caracterización química del BAG de *Agave inaequidens*.

Constituyente	Cenizas	Extraíbles	Holocelulosas	Lignina
Contenido (%)	1.9 ± 0.04	17.4 ± 0.7	61.9 ± 1.6	18.8 ± 2.3

% = peso/peso

8.2 PRUEBAS FÍSICAS A LOS POLISACÁRIDOS VEGETALES

A los polisacáridos vegetales GG y MN, se les realizaron pruebas físicas: contenido de azúcares medido como °Bx, viscosidad y CH (sección 8.7). En la Figura 8-1 se observa que el comportamiento de la solución de MN corresponde a un líquido no-Newtoniano dilatante, con un valor numérico de °Bx de 71.3 y una CH de 17.9 mL/g



Viscosidad de la solución mucilago de nopal

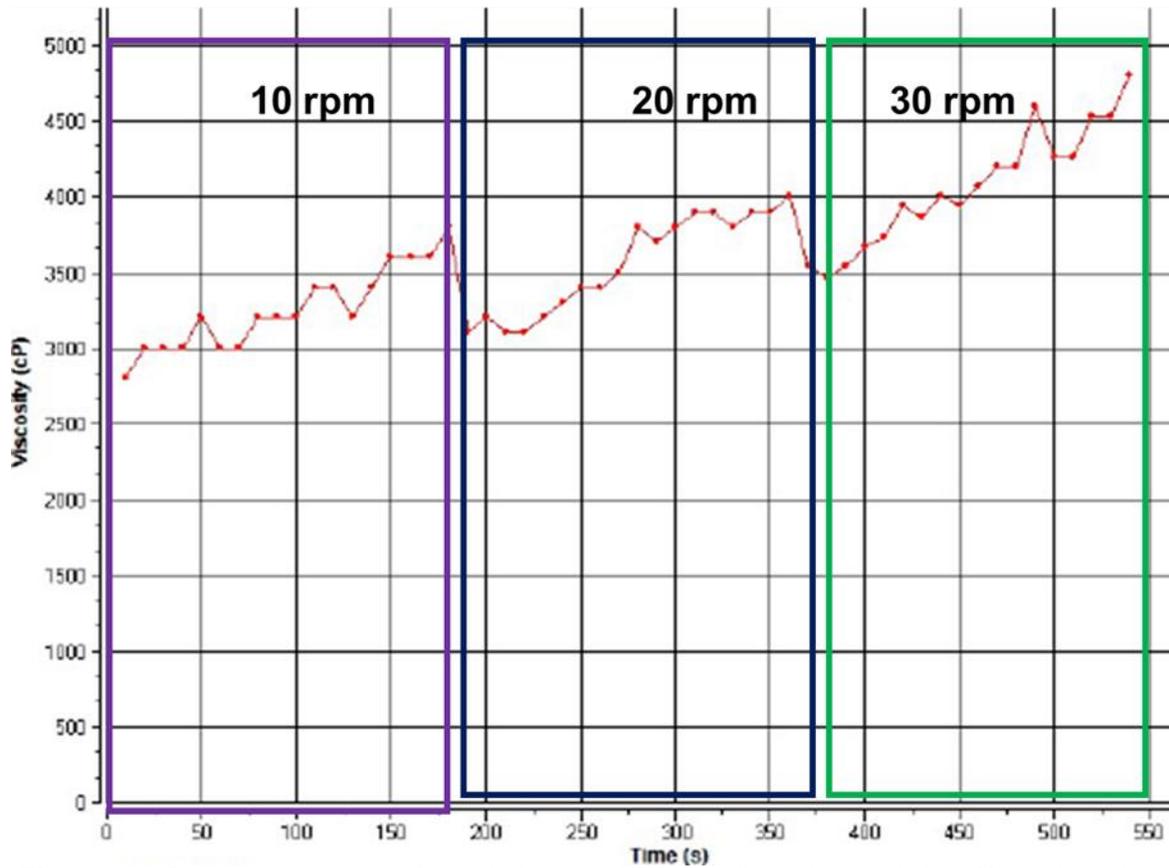


Figura 8-1. Comportamiento reológico de la solución de mucilago de nopal al 10 % en glicerol, los cuadros de colores indican el incremento de la velocidad de acuerdo al tiempo, morado 10 rpm, azul 20 rpm y verde 30 rpm.

En la Figura 8-2 se muestra el comportamiento reológico de la solución de GG, que corresponde a un líquido Newtoniano, con un valor numérico de °Bx de 68.5 y una CH de 10.9 mL/g.



Viscosidad de solución goma guar

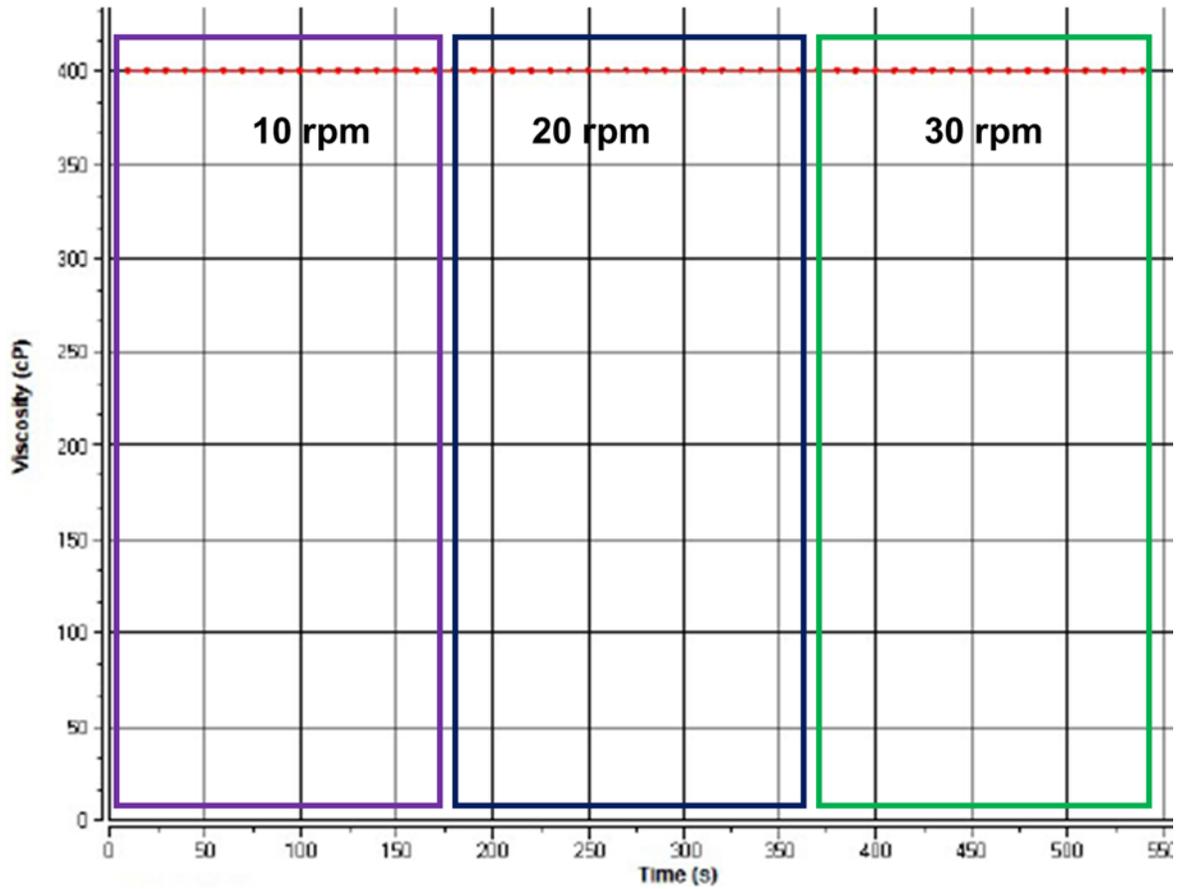


Figura 8-2. Comportamiento reológico Newtoniano de la solución goma guar al 10 % en glicerol, los cuadros de colores indican el incremento de la velocidad de acuerdo al tiempo, morado 10 rpm, azul 20 rpm y verde 30 rpm.



8.3 CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE AGUA (AbAg)

Se realizó la prueba de AbAg (sección 8.9.3). En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran los datos de la AbAg de los biopolímeros absorbentes. El BAG100 registró la mayor AbAg con 4.4 mL de agua/g de muestra. Los biopolímeros con GG absorbieron desde 2 hasta 2.4 mL de agua/g de muestra. En cambio, los biopolímeros BAG75/MN25, BAG50/MN50 y BAG25/MN75 registraron valores de: 1.9, 0.8 y 0.25 mL de agua/g de muestra y la bentonita 1.6 mL de agua/g de muestra.

El valor numérico de AbAg del BAG100 fue diferente ($P < 0.05$) a los valores numéricos de los otros biopolímeros, el valor numérico del biopolímero BAG75/GG25 no mostro diferencia con los valores numéricos de los biopolímeros BAG75/MN25 y BAG50/GG50, el valor de R cuadrada para esta prueba fue de 0.99.

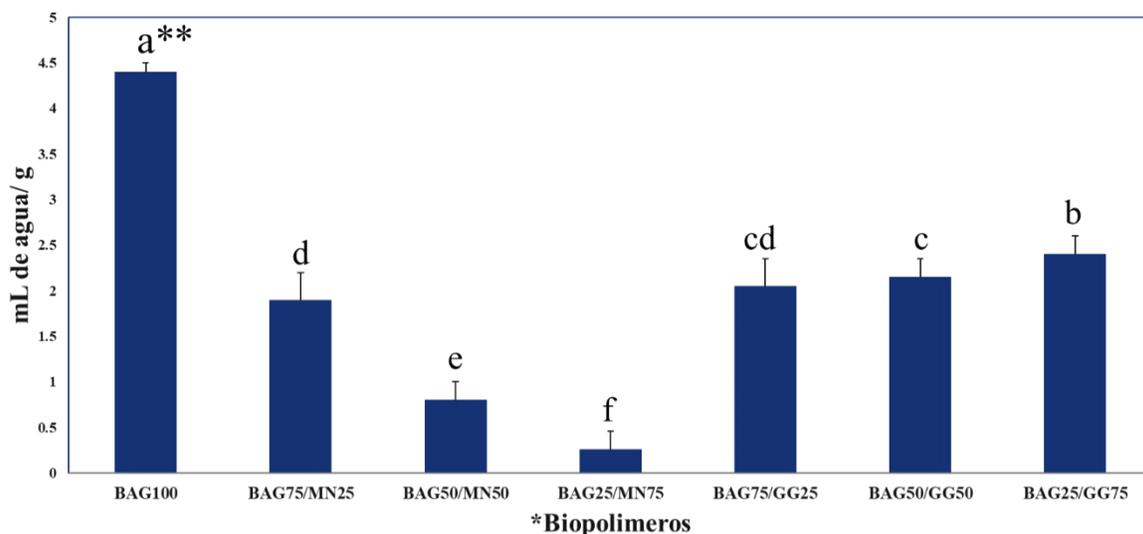


Figura 8-3. Capacidad de absorción de agua de los biopolímeros de bagazo de Agave inaequidens. Biopolímeros en donde los números indican los porcentajes de bagazo de Agave (BAG), mucilago de nopal (MN) y goma guar (GG).

*n=6, **valores con letras distintas tuvieron diferencias estadísticas ($P < 0.05$), según ANOVA/Tukey.



En las fotos de la Figura 8-4, se observó que al incrementar el porcentaje de inclusión de GG, hubo la presencia de dos fases.

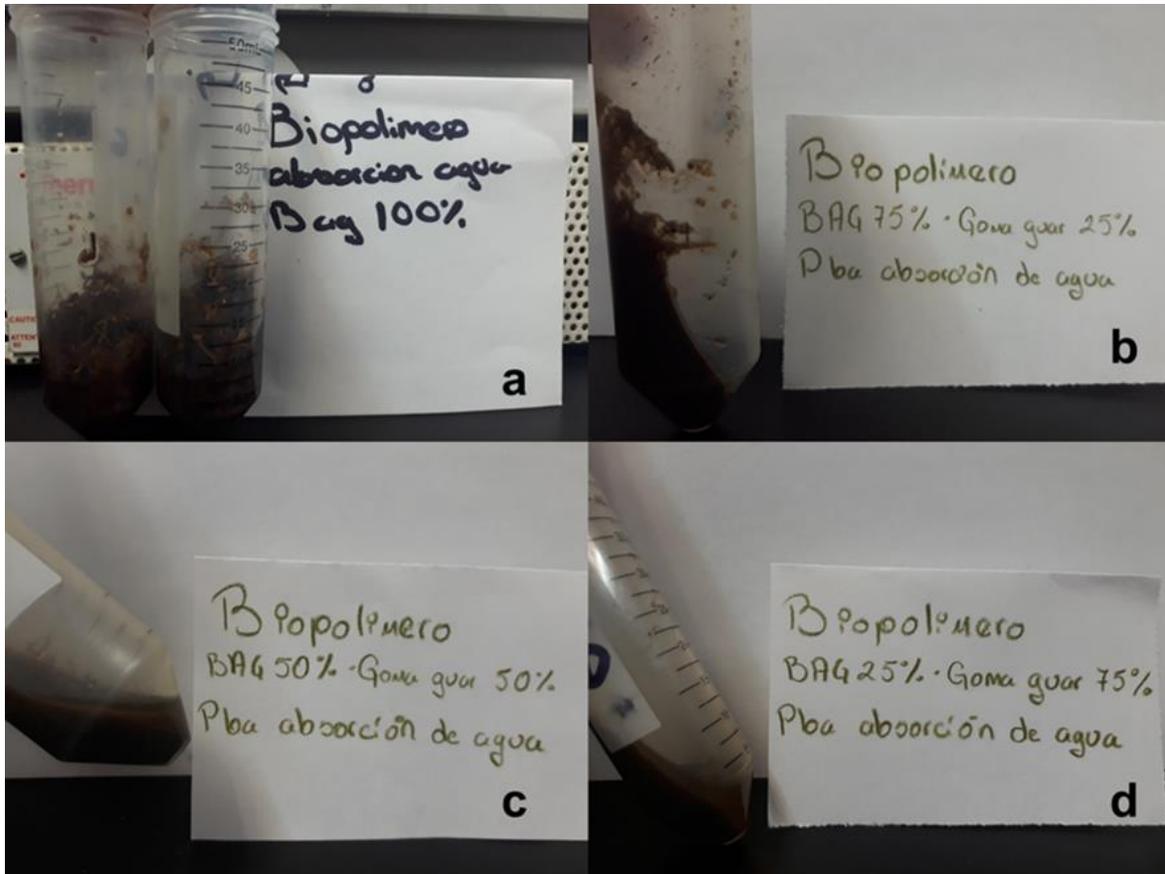


Figura 8-4. Absorción de agua. (a) BAG100, (b) BAG75/GG25, (c) BAG50/GG50, (d) BAG25/GG75.



8.4 CAPACIDAD DE AGLUTINACIÓN CON AGUA (AgAg)

Para la prueba de AgAg (sección 8.9.1). La

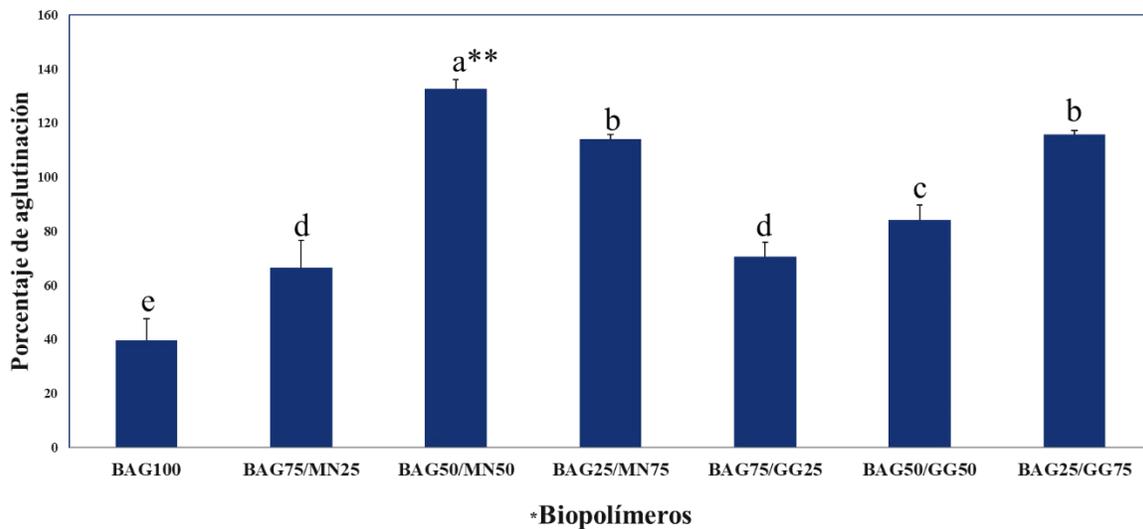
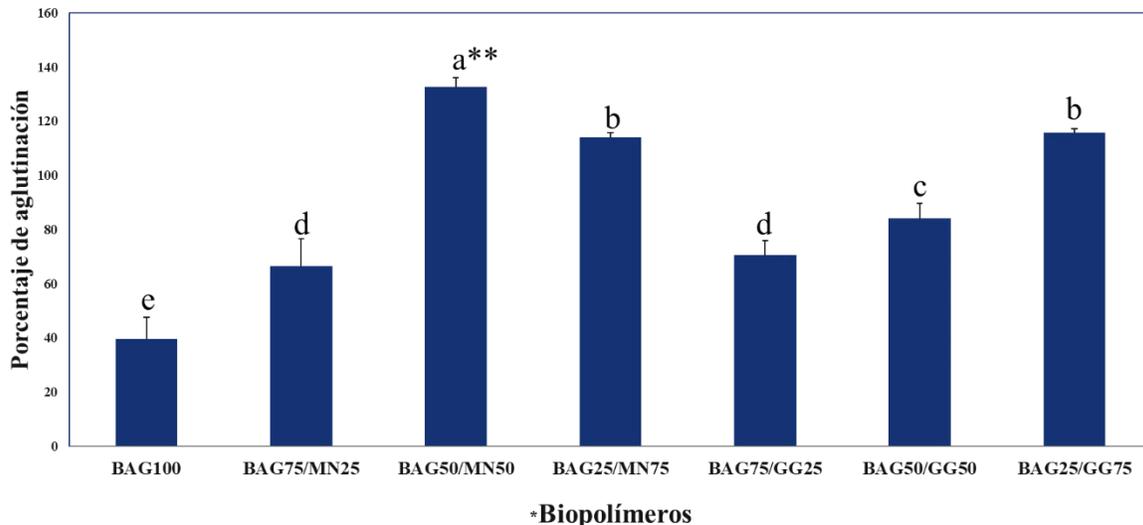


Figura 8-5. Porcentajes de aglutinación con agua de los biopolímeros absorbentes de bagazo de Agave inaequidens. Biopolímeros en donde los números indican el porcentaje de bagazo de Agave (BAG), mucilago de nopal (MN) y goma guar (GG).

*n=6, **valores con letras distintas tuvieron diferencias estadísticas ($P < 0.05$), según ANOVA/Tukey. corresponde a la AgAg, ahí el biopolímero BAG50/MN50 registro el mayor porcentaje con 132.8%, en cambio, el BAG100 registro el menor porcentaje con 39.7%, Los otros biopolímeros oscilaron entre los porcentajes de 66.5 a 115.9%. Mientras que la bentonita mostro un 73.4%, el biopolímero más cercano al valor numérico de la bentonita fue el BAG75/GG25 con un 70.6%.



Con base en el análisis numérico estadístico el biopolímero BAG50/MN50 fue el mejor, seguido de los biopolímeros BAG25/GG75 y BAG25/MN75. Los biopolímeros BAG75/GG25 y BAG75/MN25 no presentaron diferencia estadística. En esta prueba el valor de R cuadrada fue de 0.97.



***Biopolímeros**
Figura 8-5. Porcentajes de aglutinación con agua de los biopolímeros absorbentes de bagazo de *Agave inaequidens*. Biopolímeros en donde los números indican el porcentaje de bagazo de *Agave* (BAG), mucilago de nopal (MN) y goma guar (GG).
*n=6, **valores con letras distintas tuvieron diferencias estadísticas ($P < 0.05$), según ANOVA/Tukey.

Las **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (a), (b) y (c) corresponden a los biopolímeros BAG75/GG25, BAG50/GG50 y BAG25/GG75, después de haber goteado agua sobre los biopolímeros, en ellas se observó humedad en la parte central, mientras que, las **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (a1), (b1) y (c1), muestran las fracciones aglutinadas de los biopolímeros BAG75/GG25, BAG50/GG50 y BAG25/GG75.

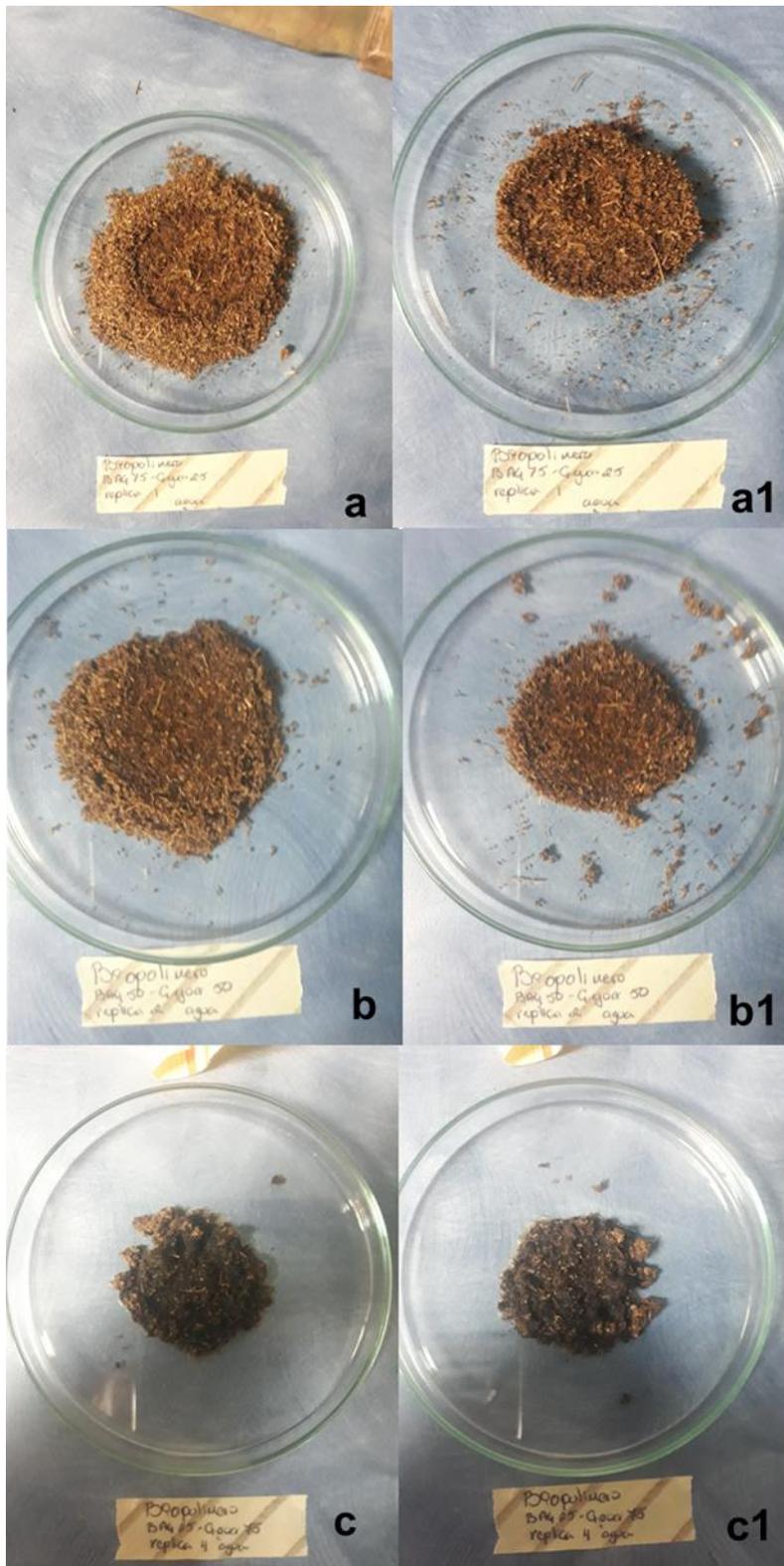


Figura 8-6. Características físicas de las partículas de los biopolímeros con goma guar: a y a1 BAG75/GG25; b y b1 BAG50/GG50; c y c1 BAG25/GG75.



8.5 CAPACIDAD DE AGLUTINACIÓN CON ORINA (AgOr)

La prueba de AgOr (sección 8.9.2), se consideró porque uno de los posibles usos de los biopolímeros es como: el núcleo absorbente de un pañal desechable o material para una litera higiénica de mascotas domésticas. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se muestran los porcentajes de AgOr. En donde, los biopolímeros BAG25/GG75, BAG25/MN75 y BAG50/MN50 registraron los valores numéricos más altos con 111.1, 109.1 y 105.3% de AgOr respectivamente. El biopolímero con menor AgOr fue el BAG100 con un 39.4%. El biopolímero más próximo a la bentonita que aglutino un 68.9% fue el BAG75/GG25 con un 73.9%.

Los valores numéricos de AgOr de los biopolímeros BAG25/GG75, BAG25/MN75 y BAG50/MN50 no mostraron diferencias estadísticas entre ellos, pero si con los biopolímeros BAG100, BAG50/GG50, BAG75/GG25 y BAG75/MN25, en los cuales, los valores numéricos de AgOr si tuvieron diferencia estadística. En esta prueba el valor de R cuadrada fue de 0.98.

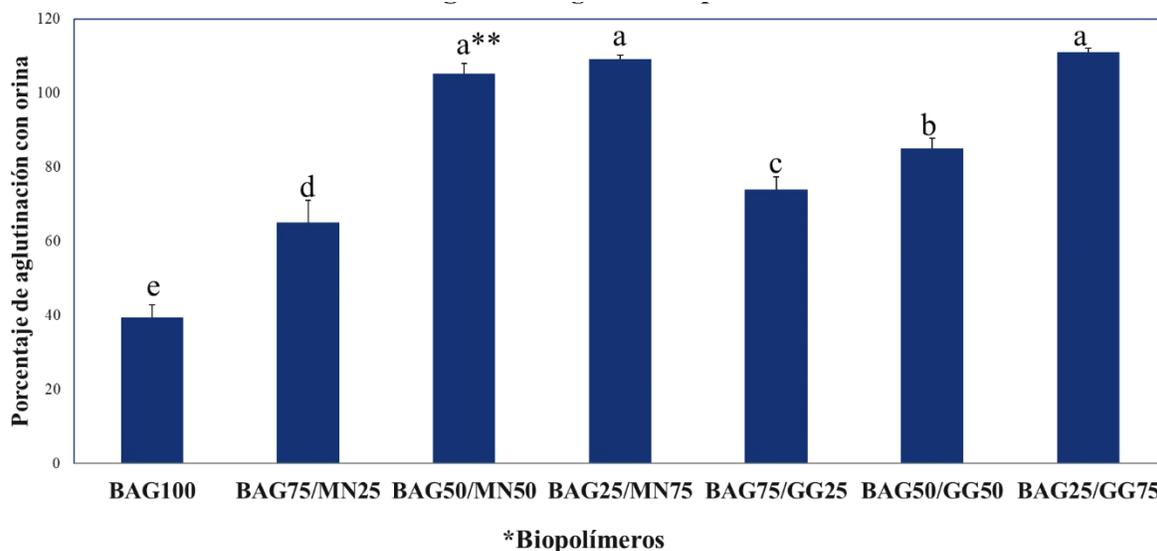


Figura 8-7. Porcentajes de aglutinación con orina de los biopolímeros absorbentes de bagazo de Agave inaequidens. Biopolímeros en donde los números indican el porcentaje de bagazo de Agave (BAG), mucilago de nopal (MN) y goma guar (GG).

*n=6, **valores con letras distintas tuvieron diferencias estadísticas ($P < 0.05$), según ANOVA/Tukey.

8.6 CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE ACEITE (AbAc)

Se evaluó la AbAc (sección 8.9.4). Los biopolímeros BAG100, BAG75/MN25 y BAG75/GG25 tuvieron los valores numéricos más altos de 2.3, 2.4 y 2.5 mL de aceite/g de muestra respectivamente. Seguidos de los biopolímeros BAG50/GG50 y BAG50/MN50 con valores de 1.6 y 1.5 mL de aceite/g de muestra. Los biopolímeros BAG25/GG75 y BAG25/MN75 mostraron los valores menores con 0.7 y 0.5 mL de aceite/g de muestra respectivamente. La bentonita absorbió 0.6 mL de aceite/g de muestra.

Los valores numéricos de la AbAc de los biopolímeros, tuvieron diferencias estadísticas que fueron dependientes del porcentaje de inclusión de polisacáridos vegetales en los biopolímeros como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**



Los biopolímeros BAG100, BAG75/GG25 y BAG75/MN25 no mostraron diferencia estadística entre ellos. Los biopolímeros BAG50/GG50 y BAG50/MN50 tuvieron diferencia estadística, con respecto a los Biopolímeros BAG25/GG75 y BAG25/MN75. El valor de R cuadrada para esta prueba fue de 0.96.

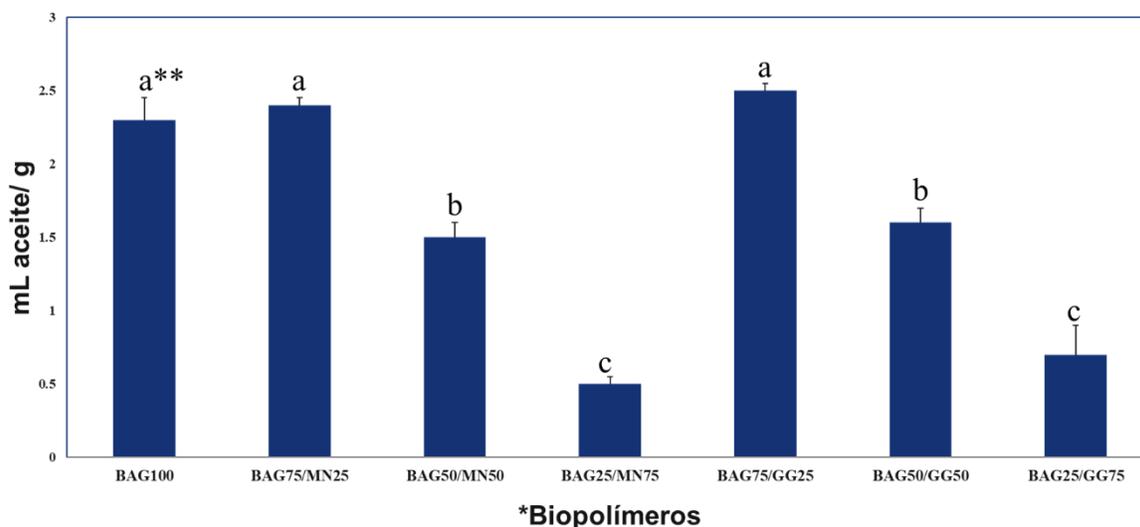


Figura 8-8. Capacidad de absorción de aceite vegetal de los biopolímeros absorbentes de bagazo de Agave inaequidens. Biopolímeros en donde los números indican el porcentaje de bagazo de Agave (BAG), mucilago de nopal (MN) y goma guar (GG).

*n=6, **valores con letras distintas tuvieron diferencias estadísticas ($P < 0.05$), según ANOVA/Tukey.

8.7 ANÁLISIS POR ESCANEAMIENTO MICROSCÓPICO DE BARRIDO

La

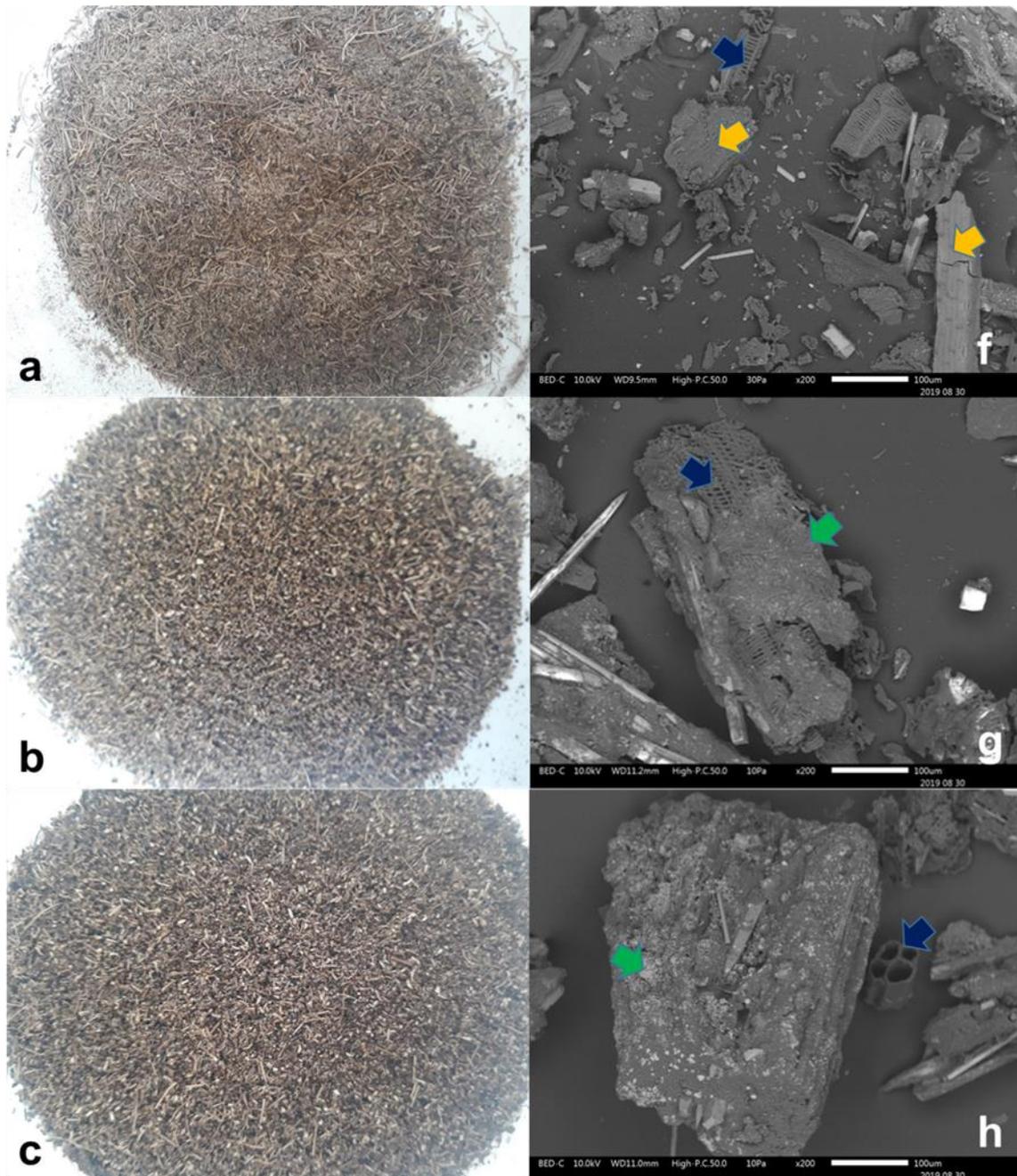


Figura 8-9. Estructura macroscópica y microscópica del bagazo de *Agave inaequidens* y los biopolímeros BAG75/GG25, BAG75/MN25, BAG50/MN50 y BAG25/GG75. Las flechas azules señalan los espacios porosos, las amarillas la superficie de las fibras y las verdes la cubierta de polisacárido



vegetal. (a) corresponde a las propiedades físicas estructurales de las fibras de BAG de *A. inaequidens*. Se detectó una diferencia en las partículas de aspecto polvosas y volátiles del BAG, comparadas con las Figuras 8-9 (b), (c) y (d) de los biopolímeros BAG75/GG25, BAG75/MN25 y BAG50/MN50 respectivamente. cuyas partículas tenían un aspecto húmedo y menos fino.

La Figura 8-9 (e) corresponde al biopolímero BAG25/GG75, en donde la aglutinación de las fibras fue alta, ocasiono que tuvieran mayor tamaño en relación a los otros biopolímeros.



En la Figura 8-9 (f) se muestra la micrografía de las fibras del bagazo de *A. inaequidens* natural, estas son laminares, distintas, con poros, superficie agrietada y sin uniformidad. En la Figura 8-9 (g) se muestra la foto del biopolímero BAG75/GG25 con un añadido irregular en la superficie, una apariencia arrugada, lo que indica que el polisacárido vegetal y fibras pequeñas del BAG se adhirieron a la superficie de otras fibras. La Figura 8-9 (h) corresponde al biopolímero BAG75/MN25, ahí las superficies de las fibras tenían un aspecto rugoso e incluso las fibras se unieron entre sí, con nuevos espacios porosos. Respecto a las Figuras 8-9 (i) y 8-9 (j) que pertenecen a los biopolímeros BAG50/MN50 y BAG25/GG75 respectivamente, se detectó un marcado aglutinamiento de las fibras entre sí, por la acción del polisacárido natural. No se realizó el escaneo por microscopía electrónica del biopolímero BAG50/GG50, porque tenía una superficie aceitosa, que impidió la adherencia a la cinta de doble cara de carbono, de la técnica para microscopía electrónica.

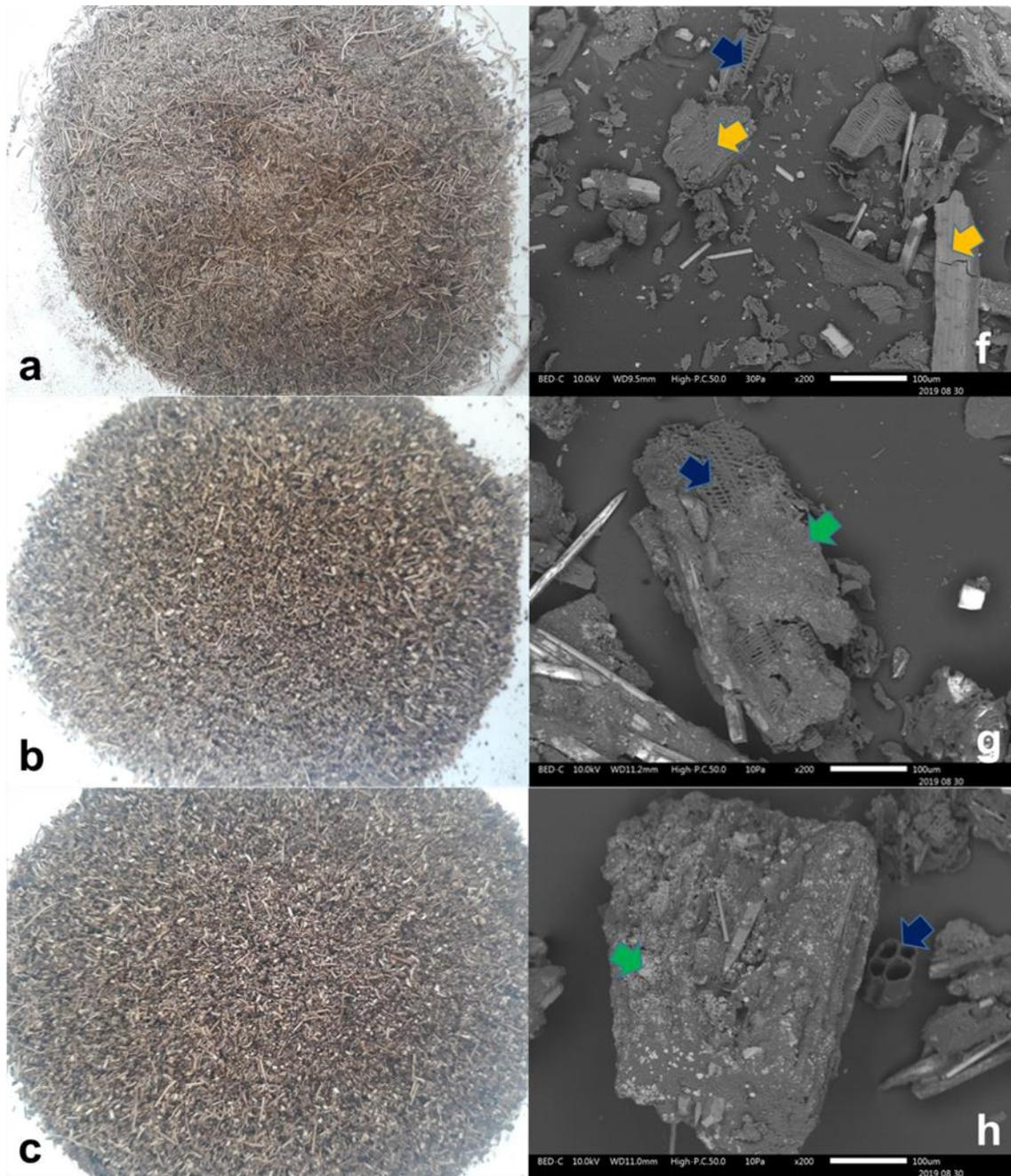
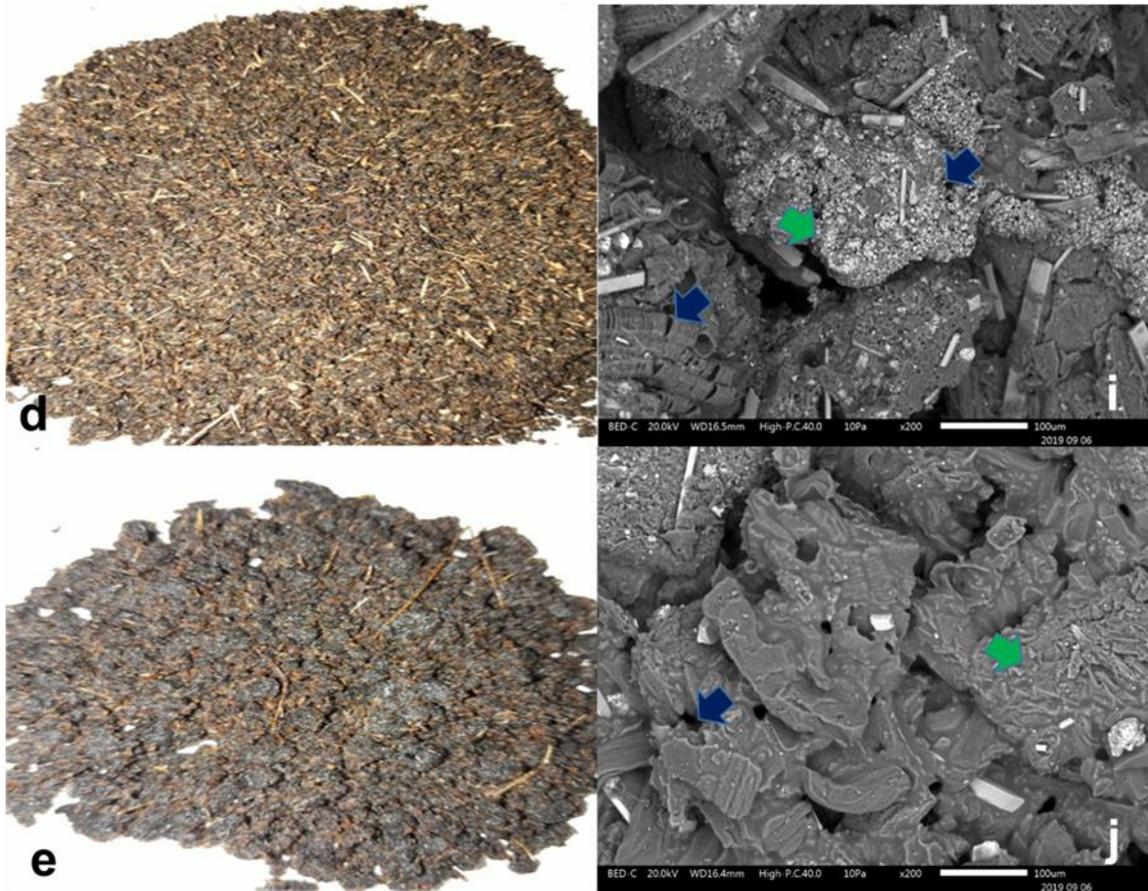


Figura 8-9. Estructura macroscópica y microscópica del bagazo de *Agave inaequidens* y los biopolímeros BAG75/GG25, BAG75/MN25, BAG50/MN50 y BAG25/GG75. Las flechas azules señalan los espacios porosos, las amarillas la superficie de las fibras y las verdes la cubierta de polisacárido vegetal.



Continuación de **Figura 8-9**. Estructura macroscópica y microscópica del bagazo de *Agave inaequidens* y los biopolímeros BAG75/GG25, BAG75/MN25, BAG50/MN50 y BAG25/GG75. Las flechas azules señalan los espacios porosos, las amarillas la superficie de las fibras y las verdes la cubierta de polisacárido vegetal.

8.8 ANÁLISIS POR ESPECTROSCOPIA INFRARROJA (FTIR)

El análisis FTIR (sección 8.10.2). En la

Figura **8-10**. Espectro infrarrojo del bagazo de *Agave inaequidens* en verde y biopolímeros BAG75/GG25 en rosa y BAG75/MN25 en azul, se muestra el análisis por infrarrojo del BAG de *A. inaequidens* y los biopolímeros con BAG/GG y BAG/MN. En el espectro están señaladas las bandas principales. Se observó que los tres espectros fueron similares, debido a la cubierta de glicerol en la superficie de las fibras y por la complejidad por ser materia lignocelulósica.

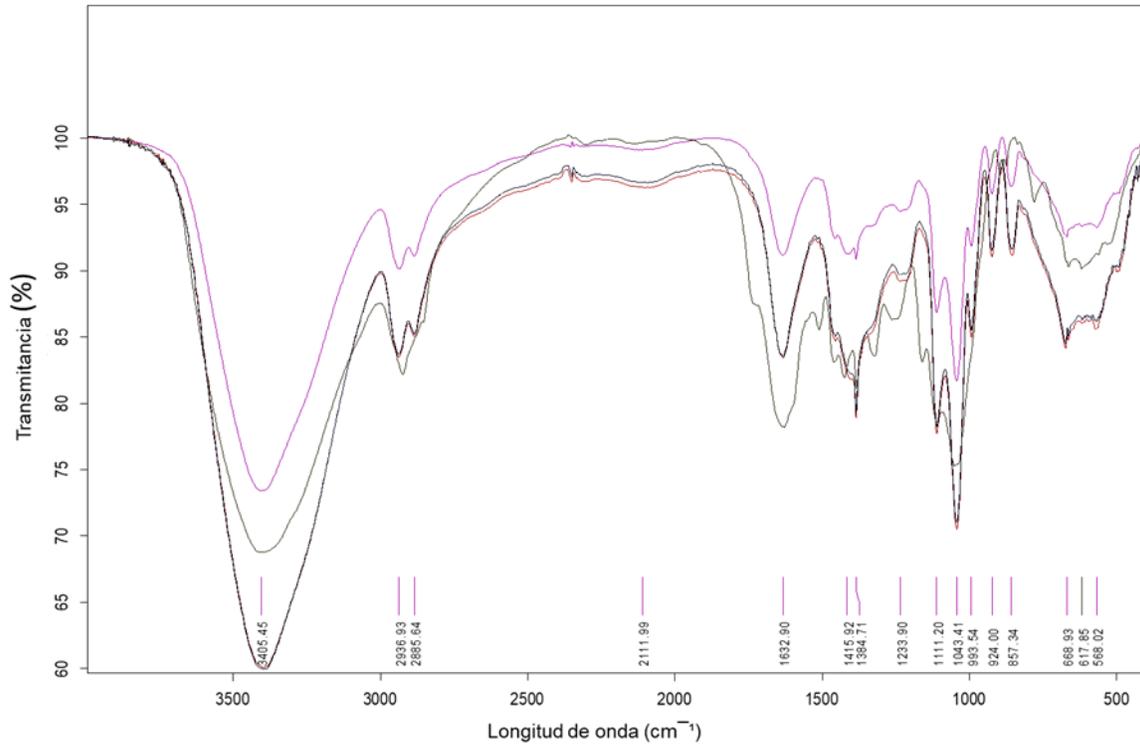


Figura 8-10. Espectro infrarrojo del bagazo de *Agave inaequidens* en verde y biopolímeros BAG75/GG25 en rosa y BAG75/MN25 en azul.



9. DISCUSIÓN

9.1 CARACTERIZACIÓN DEL BAG

Como se mencionó en el capítulo anterior, el BAG fresco contenía un 83% de humedad, lo cual indica que por sí solo, puede absorber cuatro veces su peso en agua. En la literatura el BAG, más estudiado y caracterizado es el de *A. tequilana*, sin embargo, investigaciones recientes han analizado otras especies, ver la Tabla 2-1. Se observó que entre el BAG de diferentes especies hubo variaciones porcentuales en los componentes químicos, por ejemplo, la lignina: Li *et al.*, (2012) en Abreu (2013) reportó valores de 10.1% para BAG de *A. salmiana* y 15.0% para BAG de *A. tequilana*. Castillo (2014) registró un 15% en el BAG de *A. cupreata*, Hidalgo-Reyes *et al.*, (2015) determinaron un 20.0% para BAG de *A. angustifolia* y un 18.8% para BAG de *A. inaequidens*; de acuerdo con Flores-Sahagun *et al.*, (2013) estas variaciones porcentuales de la lignina en los BAG, se deben a factores como: el tiempo de cosecha y madurez del agave, la región geo climática hábitat del agave, los métodos empleados para el análisis y el tiempo de permanencia de las fibras en el palenque. En la caracterización química del BAG de *A. inaequidens*, los valores de importancia en este trabajo son la lignina y holocelulosas, porque, una de sus propiedades funcionales como fibra insoluble es la AbAg (Chamorro & Mamani, 2010). Rangos semejantes de lignina y holocelulosa al BAG de *A. inaequidens*, permite inferir que el BAG de otras especies de *Agaves*, podría utilizarse como materia prima en la elaboración de biopolímeros absorbentes y aglutinantes.



9.2 PRUEBAS FÍSICAS A LOS POLISACÁRIDOS VEGETALES

Un líquido Newtoniano es aquel en el cual, la viscosidad es independiente de la velocidad de cizalla, pero sí depende de la temperatura; un líquido no Newtoniano es aquel en el cual, la viscosidad depende de la temperatura y la velocidad de cizalla (Ramírez, 2006). Conocer el comportamiento reológico de las soluciones de GG y MN, es importante porque, al poder escalar el proceso de producción a nivel industrial, se debe elegir o diseñar la maquinaria adecuada a las propiedades reológicas.

La determinación de azúcares en °Bx era de interés, porque, el comportamiento Newtoniano o no-Newtoniano, depende del contenido de sólidos solubles. La capacidad para incrementar el volumen al exceso de agua o capacidad de hinchamiento, también depende de la concentración de polisacáridos en cada uno de los polímeros, así como del método de extracción y de purificación (Molina-Hernández *et al.*, 2019).

9.3 CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE AGUA (AbAg)

En la Figura 8-4 (b-d) aparecieron dos fases, es decir, una para la fibra y otra para el gel. Esto indica que la fibra insoluble, en contacto con el agua se hincha y forma una red que almacena agua. Además, por la superficie porosa de las fibras, también absorbe por capilaridad (Chamorro & Mamani, 2010) y la GG mediante la formación de gel (Badui, 2006).



La bentonita registró una AbAg de 1.6 mL de agua/g, el biopolímero BAG75/GG25 fue el más cercano con 2 mL de agua/g. En un trabajo similar en materiales y métodos Vaughn *et al.*, (2011) reportaron una AbAg de 2.4 mL de agua/g para granos de maíz, con porcentajes de inclusión de 1:0.25 g de GG. Es posible, que la diferencia entre el trabajo de Vaughn *et al.*, (2011) y la presente investigación, sea por las propiedades de los granos de maíz como: porosidad, tamaño de partícula, composición química y la diferencia de proporciones utilizadas.

En la Tabla 9-3, se muestran trabajos que usan fibras naturales, pero utilizan metodologías diferentes a la de este trabajo. En ellos sintetizan biopolímeros absorbentes de agua, mediante la modificación de la estructura química original de la lignocelulosa, de las proteínas y/o de los carbohidratos. En algunos incrementaron los grupos COO^- (carboxilo) de carbohidratos como alginatos (Escalona *et al.*, 2005) y de la proteína de soya (Cuadri *et al.*, 2017). En otros, refuerzan los hidrogeles con nano fibras de celulosa, extraídas de paja de trigo; lo que resulta, en un bionanomaterial (Petroudy *et al.*, 2018). Por esta razón, la AbAg de los biopolímeros con modificaciones químicas, es mayor que los biopolímeros sintetizados por métodos físicos.



Tabla 9-1. Biopolímeros absorbentes de agua a base de fuentes naturales

Fuente	Materiales y métodos	Derivado obtenido	AbAg (mL de agua/g de muestra)	Referencia
Lignocelulosa de BAG de <i>A. inaequidens</i>	Incorporación de GG por mezclado	Biopolímero BAG75/GG25	2 ± 0.3	
Lignocelulosa de BAG de <i>A. inaequidens</i>	Incorporación de MN por mezclado	Biopolímero BAG75/MN25	1.9 ± 0.3	
Lignocelulosa de granos de maíz	Incorporación de GG por mezclado	Biopolímero absorbente	2.4	Vaughn <i>et al.</i> , 2011
Alginato	Eterificación	Carboximetilados de alginato	De 11 a 14	Escalona <i>et al.</i> , 2005
Proteína de soya	Acilación con anhídrido succínico	Proteína acilada	13.35	Cuadri <i>et al.</i> , 2017
Lignocelulosa de soya	Tratamiento alcalino por cocción al vapor asistido por ultrasonido	Fibra insoluble de soya tratada.	39.6	Chen <i>et al.</i> , 2019
Paja de trigo y carboximetilcelulosa	Oxidación mediada por TEMPO	Bionanomaterial	200	Petroudy <i>et al.</i> , 2018

TEMPO = 2,2,6,6-tetrametilpiperidina-1-oxilo

9.4 CAPACIDAD DE AGLUTINACIÓN CON AGUA (AgAg) Y AGLUTINACIÓN CON ORINA (AgOr)

Los valores numéricos de AgAg y AgOr, de la sección 8.4 y 8.5, indican que los biopolímeros de BAG pueden sustituir a la bentonita como material aglutinante.



En

la

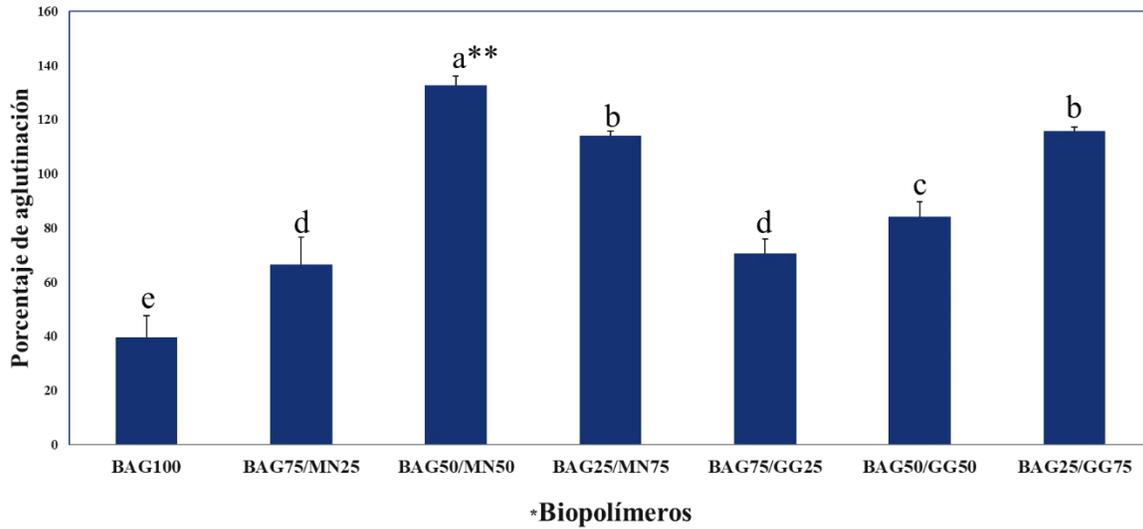


Figura 8-5. Porcentajes de aglutinación con agua de los biopolímeros absorbentes de bagazo de *Agave inaequidens*. Biopolímeros en donde los números indican el porcentaje de bagazo de *Agave* (BAG), mucilago de nopal (MN) y goma guar (GG).

*n=6, **valores con letras distintas tuvieron diferencias estadísticas ($P < 0.05$), según ANOVA/Tukey., se observó que al incrementar el porcentaje de inclusión de polisacáridos en el biopolímero la AgAg se incrementa, esta relación también fue indicada por Vaughn *et al.*, (2011), usaron granos de maíz con inclusión de GG en 0.10, 0.25, 0.50 y 1.00 g. Los valores que reportaron fueron de 9.1, 45.8, 74.8 y 91.2% respectivamente.



Algunos biopolímeros aglutinaron agua y orina en un 100%, porque son materiales porosos que absorben humedad e incrementaron el peso.

9.5 CAPACIDAD DE ABSORCIÓN CON ACEITE (AbAc)

En la Tabla 9-2, se exponen investigaciones de materiales absorbentes de aceites. Se observa que, los materiales con modificaciones químicas absorben más aceite, comparados contra los materiales preparados por métodos físicos.

Tabla 9-2. Biopolímeros absorbentes de aceite a base de fuentes naturales

Fuente	Materiales y métodos	Derivado obtenido	AbAc (mL de aceite/g de muestra)	Referencia
Lignocelulosa de BAG de <i>A. inaequidens</i>	Incorporación de GG por mezclado	Biopolímero BAG75/GG25	2.5 ± 0.1	
Lignocelulosa de BAG de <i>A. inaequidens</i>	Incorporación de MN por mezclado	Biopolímero BAG75/MN25	2.4 ± 0.1	
Lignocelulosa de soya	Tratamiento alcalino por cocción al vapor asistido por ultrasonido	Fibra insoluble de soya tratada.	21.09	Chen <i>et al.</i> , 2019
Celulosa de <i>Eichhornia crassipes</i>	Reticulación con alcohol polivinílico y Metiltrimetoxisilano	Aerogel hidrofóbico a base de celulosa	71.65	Yin <i>et al.</i> , 2017
Fibra de <i>Calotropis gigantea</i>		Fibra con nanopartículas de Ni	120	Cao <i>et al.</i> , 2018

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se observa una relación inversa entre la AbAc y el porcentaje de inclusión de cada polisacárido vegetal en los biopolímeros, esto, fue debido a la propiedad lipofílica del glicerol en los biopolímeros, que es insoluble en aceites (San Kong *et al.*, 2016).



Con base en lo estudiado por López *et al.*, (1996) la AbAc no solo depende de las propiedades físicas de las fibras, también la composición química tiene importancia, a mayor contenido de lignina, la capacidad de AbAc se incrementó, esta proporción se observa en la Tabla 9-3.

Tabla 9-3. Capacidad de absorción de aceite por algunas fibras naturales.

Fuente de fibra	Absorción de aceite (mL de aceite/g de muestra)	Contenido de lignina (%)	Referencia
BAG	2.3 ± 0.3	18.8 ± 2.3	
Fruto de níspero	1.2	4.6	Sánchez, (2005)
Cáscara de mango obo	1.3	16.3	Sánchez, (2005)
Cáscara de mango criollo	1.3	12.0	Sánchez, (2005)
Cáscara de nabo	7	4.6	Chamorro-Mamani <i>et al.</i> , (2010)

% = peso/peso

9.6 ANÁLISIS POR ESCANEAMIENTO MICROSCÓPICO DE BARRIDO

En las micrografías electrónicas, realizadas a las fibras de BAG se observó que en cuanto a tamaño y forma son distintas. En relación a esto, Guerrero, (2010) explica que la diferencia entre fibras de BAG, se debe al proceso de elaboración del mezcal, que incluye cocimiento, molienda y destilación.

El tamaño de partícula de los biopolímeros fue de aproximadamente de 0.841 mm. Al respecto Martínez - Gutiérrez *et al.*, (2015) reportaron que los tamaños de partícula finas de 0.425 a 1.18 mm fueron mejores en absorción de agua. House, (1993) utilizó minerales absorbentes con un tamaño de partícula de 0.25 a 2 mm. Por lo que, el biopolímero BAG75/GG25 está en el rango de tamaño de partícula para materiales absorbentes.



En las microfotografías de los biopolímeros se identificó que eran fibras porosas, en ese sentido, Fornes *et al.*, (2003) indicaron que en los materiales absorbentes la superficie porosa idónea debe ser de un 40%, aunque, no se analizó la porosidad del BAG y los biopolímeros, por los valores de AbAg reportados, se puede suponer que los biopolímeros, están en el rango para superficie porosa.

9.7 ANÁLISIS POR ESPECTROSCOPIA INFRARROJA (FTIR)

En el análisis FTIR se observaron bandas a los 3405.45 cm^{-1} corresponden a grupos OH (hidroxilo) Íñiguez *et al.*, (2011) se encontraron estas en el BAG de *A. tequilana*. De acuerdo con Poletto *et al.*, (2012) las bandas a los 2936.93 y 2885.64 cm^{-1} pertenecen a las vibraciones de los enlaces C-H de alcanos en la materia vegetal. Las señaladas a los 1632.90 , $1233,90$ y 924 cm^{-1} se relacionan a los estiramientos y flexiones dentro y fuera del plano de los enlaces: C=O, C-O-H, C-O de ácidos carboxilos, las bandas a los 690 y 900 cm^{-1} denotan enlaces C-H de anillos aromáticos del esqueleto de la lignina (Skoog *et al.*, 2008). La relevancia de este análisis, es la búsqueda cualitativa de grupos funcionales hidrófilos OH y COOH, que estén presentes en el BAG y en lo biopolímeros elaborados. Porque, también participan en la de absorción de agua, por la formación de puentes de hidrogeno (Katime *et al.*, 2005).



10. CONCLUSIONES

El BAG de *A. inaequidens* con goma guar se transformó en un material absorbente y aglutinante, ya que las propiedades fisicoquímicas del biopolímero BAG75/GG25, fueron comparables a las de la bentonita.

La inclusión de glicerol/polisacárido disminuyó la capacidad de absorción de aceite de Zea maíz por parte del BAG de *A. inaequidens*.

11. VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS

“La inclusión de polisacáridos vegetales GG y MN con BAG genera un biopolímero con capacidad absorbente y aglutinante de líquidos, comparable a la bentonita.”

Hipótesis aceptada para el caso del biopolímero BAG75/GG25, que mostró capacidad de absorber líquidos, comparable a la bentonita.

12. CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Obtener un biopolímero con capacidad absorbente y aglutinante de BAG, por la inclusión de polisacáridos vegetales GG y MN.



cumplido



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Caracterizar fisicoquímicamente el BAG



cumplido.

Probar distintos porcentajes de inclusión de polisacáridos vegetales con BAG



cumplido.

Caracterizar las propiedades fisicoquímicas de los biopolímeros con capacidad absorbente y aglutinante



cumplido.

Determinar la mezcla de polisacáridos vegetales con BAG comparable a la bentonita.



cumplidos.



13. ACTIVIDADES DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

ARTÍCULO

Diferencias y similitudes entre el mezcal y el tequila

Eliseo Silva Espino y Liliana Márquez Benavides



Eliseo Silva Espino estudiante del Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas del Instituto de Investigaciones Agrícolas y Forestales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

enfriaferma@hotmail.com

D. en C. Liliana Márquez Benavides es profesora investigadora, del Instituto de Investigaciones Agrícolas y Forestales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
lilimbenavides@gmail.com

La producción del mezcal y del tequila, dos bebidas típicas de México, se remonta hasta antes de la llegada de los españoles. Sus nombres son de origen náhuatl, la palabra mezcal proviene de "mexcalli" que significa "maguey cocido" y la palabra tequila proviene de "tequitl", trabajo y "tlan", cuyo significado es "lugar de trabajo".

Antes de la llegada de los españoles, los pueblos mesoamericanos cortaban las pencas, cocían las piñas, las molían y fermentaban el líquido. Te invitamos a seguir leyendo este artículo para que conozcas las diferencias entre el mezcal y el tequila, y tengas las herramientas de apropiación de lo nuestro, como parte de la cultura mexicana.

Producción de mezcal y tequila en México

Algunos estados de la República Mexicana elaboran exclusivamente solo una de las dos bebi-



XXXVI CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

"En vía al desarrollo sostenible"

La Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y
Ambiental – AIDIS

Otorga el Presente

RECONOCIMIENTO

A:

Eliseo Silva-Espino, Eduardo Baltierra-Trejo, Juan Manuel
Sánchez-Yáñez y Liliana Márquez-Benavides.

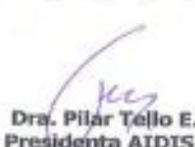
Por el Trabajo Presentado

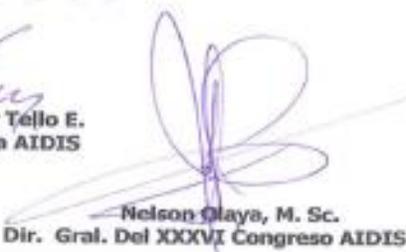
PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LA
BIODEGRADACIÓN DE LA LIGNINA DE PAJA DE TRIGO.

En el XXXVI Congreso Interamericano de Ingeniería
Sanitaria y Ambiental "En vía al Desarrollo Sostenible"

Guayaquil, Ecuador del 28 al 31 de Octubre de 2018


Mg. Walter Bazaña Loo
Presidente AEISA


Dra. Pilar Tejero E.
Presidenta AIDIS


Nelson Olaya, M. Sc.
Dir. Gral. Del XXXVI Congreso AIDIS



18 y 19
octubre
2018
Centro de Convenciones
y Exposiciones de Montaña



13.º Congreso
Estatal
de **Ciencia**
Tecnología e Innovación
7.º Encuentro de Jóvenes Investigadores
del Estado de Michoacán



El Gobierno del Estado de Michoacán de Ocampo, a través del
Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación del Estado,

otorgan la presente

CONSTANCIA

Eliseo Silva Espino

A:

Por su ponencia en la "Mesa 3.- Ciencias Agrícolas y Biotecnología", titulada: **Aprovechamiento de la paja de trigo pretratada con hongos como posible alimento en rumiantes**

En el marco de las actividades académicas del **13º Congreso Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación y el Séptimo Encuentro de Jóvenes Investigadores** del Estado de Michoacán.

Morelia, Michoacán; a 19 de octubre de 2018.

Dr. José Luis Montañez Espinosa

Director General del Instituto de Ciencia,
Tecnología e Innovación del Estado de Michoacán





**Foro Académico
del Posgrado
en Ciencias Biológicas
2018 y Agropecuarias**



La Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo a través de los Programas Institucionales de Maestría y Doctorado en Ciencias Biológicas otorga la presente

CONSTANCIA A:

ELISEO SILVA ESPINO, LILIANA MÁRQUEZ BENAVIDES, JUAN MANUEL SÁNCHEZ YAÑEZ

**POR SU PARTICIPACIÓN
CON EL TRABAJO:**

Absorbente de líquidos a partir de bagazo de agave mezcalero

EN EL 9º FORO ACADÉMICO DE POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS,

realizado los días 12 y 13 de diciembre del 2018

Rosa Elva Norma del Rio Torres

DRA. ROSA ELVA NORMA DEL RIO TORRES
COORDINADORA GENERAL DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Esperanza Melendez Herrera

DRA. ESPERANZA MELENDEZ HERRERA
COORDINADORA GENERAL DEL PROGRAMA INSTITUCIONAL DE DOCTORADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Liliana Márquez Benavides

DRA. LILIANA MÁRQUEZ BENAVIDES
COORDINADORA GENERAL DEL PROGRAMA INSTITUCIONAL DE MAestría EN CIENCIAS BIOLÓGICAS



La Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo a través de los Programas Institucionales de Maestría y Doctorado en Ciencias Biológicas otorga la presente



CONSTANCIA A:

ELISEO SILVA ESPINO

POR GANAR:

Mención Honorífica

CON EL TRABAJO TITULADO:

ABSORBENTE DE LÍQUIDOS A PARTIR DE BAGAZO DE AGAVE MEZCALERO
Eliseo Silva Espino, Juan Manuel Sánchez Yañez, Liliana Márquez Benavides

EN EL 9º FORO ACADÉMICO DE POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS
Realizado los días 12 y 13 de diciembre del 2018

Rosa Norma del Rio Torres

DRA. ROSA ELVA NORMA DEL RIO TORRES
COORDINADORA GENERAL DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Esperanza Melendez Herrera

DRA. ESPERANZA MELENDEZ HERRERA
COORDINADORA GENERAL DEL PROGRAMA INSTITUCIONAL DE DOCTORADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Liliana Márquez Benavides

DRA. LILIANA MÁRQUEZ BENAVIDES
COORDINADORA GENERAL DEL PROGRAMA INSTITUCIONAL DE MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS



29-31 MAYO 2019 León, Guanajuato



Otorga el presente
Reconocimiento
por su valiosa participación a:

Eliseo Silva Espino, Liliana Márquez Benavides y Juan Manuel Sánchez Yáñez

Por el trabajo:

Selección de bacterias fijadoras de N2 en la producción de exopolisacáridos útiles en biotecnología.



Ángela Ritz Robles
Inventora española

Amalia Martínez García
Representante del Comité Organizador

Rafael Espinosa Luna
Director General del CIO





Foro Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas y Agropecuarias



La Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y la Coordinación General de Estudios de Posgrado a través de los Programas Institucionales de Maestría y Doctorado en Ciencias Biológicas otorga la presente:

CONSTANCIA A:

Eliseo Silva Espino, Liliana Márquez Benavides, Juan Manuel Sánchez Yáñez

POR SU PARTICIPACIÓN

En 10º Foro Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas y Agropecuarias, los días 27 y 28 de noviembre del 2019, en la ciudad de Morelia, Michoacán.

CON LA PONECIA TITULADA

TRANSFORMACIÓN DEL BAGAZO DE AGAVE INAEQUIDENS A UN MATERIAL ABSORBENTE DE LÍQUIDOS

DR. LUIS FELIPE MENDOZA CUENCA
COORDINADOR GENERAL DEL PROGRAMA
INSTITUCIONAL DE MAESTRÍA EN CIENCIAS
BIOLÓGICAS

DRA. ESPERANZA MELENDEZ HERRERA
COORDINADORA GENERAL DEL PROGRAMA
INSTITUCIONAL DE DOCTORADO EN CIENCIAS
BIOLÓGICAS





14. BIBLIOGRAFÍA

Abreu, J. (2013). Aprovechamiento de bagazo de *Agave tequilana* Weber para la producción de bio-hidrógeno. Tesis maestría en *Ciencias ambientales*. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica: 92. (Inédito).

Ahmed, E. M. (2015). Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review. *Journal of advanced research*, 6(2): 105-121. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jare.2013.07.006>.

Badui Dergal, S. (2006). *Química de los alimentos*. Pearson Educación. México. ISBN: 970-26-0670-5. Cap 2: 29-109.

Beuchat, L. R. (1977). Functional and Electrophoretic Characteristics of Succinylated Peanut Flour Protein. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 25(2): 258–261. <https://doi.org/10.1021/jf60210a044>.

Brewer, A. (1974). *U.S. Patent No. 3,789,797*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Bruck, S. D. (1973). Aspects of three types of hydrogels for biomedical applications. *Journal of biomedical materials research*, 7(5): 387-404. <https://doi.org/10.1002/jbm.820070503>.

Cao, E., Xiao, W., Duan, W., Wang, N., Wang, A., & Zheng, Y. (2018). Metallic nanoparticles roughened *Calotropis gigantea* fiber enables efficient absorption of oils and organic solvents. *Industrial Crops and Products*, 115: 272-279. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.052>.

Carrillo-Trueba, L. A. (2007). Los destilados de agave en México y su denominación de origen. *Ciencias*, 87: 40–49.

Carriazo, J., Molina, R., & Moreno, S. (2007). Caracterización estructural y textural de una bentonita colombiana. *Revista Colombiana de Química*, 36(2): 213-225.

Castillo-Bucio, N.S. (2014) Análisis de factibilidad de producción de bioetanol a partir de agave mezcalero (*Agave cupreata*). Tesis licenciatura. Ingeniería Química. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo: 150 (inédito).

Chamorro, A. M., & Mamani, E. C. (2010). Evaluación de las Propiedades Funcionales de la Fibra Insoluble Extraída a Partir de las Holas de Nabo (*Brassica rapa* L.). *Revista de Investigación En Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1): 43–50.

Chamorro, R. A. M., & Mamani, E. C. (2010). Importancia de la fibra dietética, sus propiedades funcionales en la alimentación humana y en la industria alimentaria. *Revista de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1): 4-17.

Chávez-Guerrero, L. (2010). Uso de bagazo de la industria mezcalera como materia prima para generar energía. *Ingenierías*, 13(47): 8-16.



Chávez-Sifontes, M., & Domine, M. E. (2013). Lignina, estructura y aplicaciones: métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 4(4): 15–46.

Chen, B., Cai, Y., Liu, T., Huang, L., Deng, X., Zhao, Q., & Zhao, M. (2019). Improvements in physicochemical and emulsifying properties of insoluble soybean fiber by physical-chemical treatments. *Food hydrocolloids*, 93: 167-175. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.01.058>.

Codagnone, A. F., Hechenleitner, A. A. W., Pineda, E. A. G., & Cavalcanti, O. A. (2004). Goma guar fosfatada: potencial excipiente no desenvolvimiento de filmes isolados de etilcelulose. *Acta Farmaceutica Bonaerense*, 23(4): 448-452.

Colunga-Marín, P., Larqué Saavedra, A., E. Equiarte, L., & Zizumbo Villareal, D. (2007). *En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves*. *Revista de la Universidad Autónoma de Yucatán*. Recuperado de <http://orton.catie.ac.cr/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScrip=CICY.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=005761>.

CONABIO. (2006). *Mezcales y diversidad*, 2a ed. Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. Segunda reimpression, 2010.

CONABIO. (2018). Accesado en internet: <https://www.biodiversidad.gob.mx/ usos/mezcales/mDiversidad.html>.

Consejo Regulador del Mezcal (2018). Accesado en internet: <http://www.crm.org.mx/>.

Cordobés-Carmona, F., Aguilar García, J.M., Bengoechea Ruiz, J.M., Fuente Feria, J.d.I., López Castejón, M.L., Romero García, A., Guerrero Conejo, A.F. (2016). Desarrollo de materiales súper absorbentes biodegradables procesados a partir de subproductos agroindustriales. III Jornadas de Investigación y Postgrado: 41-50.

Crespo, M. A. G., & Lancha, A. C. A. (2011). Juguetes y polímeros súper absorbentes. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 8: 460-465.

Cuadri, A. A., Romero, A., Bengoechea, C., & Guerrero, A. (2017). Natural superabsorbent plastic materials based on a functionalized soy protein. *Polymer Testing*, 58: 126–134. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2016.12.024>.

DOF. (2003). Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos. *Recuperado de:* http://www.diputados.gob.Mx/LeyesBiblio/pdf/263_051214.pdf.

DOF. (2016). Norma Oficial Mexicana NOM-070-SCFI-2016. Bebidas alcohólicas-Mezcal-Especificaciones. *Recuperado de:* <http://www.crm.org.mx/denominacion.html>.

Escalona, M. H., Rubio, G. Y. L., & Padilla, A. G. (2005). Evaluación de derivados carboximetilados del alginato de sodio como superabsorbente. *Revista Cubana de Química*, 17(3): 239-240.



Fornes, F., Belda, R. M., Abad, M., Noguera, P., Puchades, R., Maquieira, A., & Noguera, V. (2003). The microstructure of coconut coir dusts for use as alternatives to peat in soilless growing media. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 43(9): 1171-1179. <https://doi.org/10.1071/EA02128>

Flores-Morales, A., Jiménez Estrada, M., Rodríguez García, L., & Coyotl Huerta, J. (2017). Caracterización físico química del residuo del maguey pulquero. En Martínez Gutiérrez (Presidencia). 1er congreso nacional de Agave-mezcal CIIDIR OAXACA. Congreso llevado a cabo en Santa Cruz Xoxocotlán, México.

Flores-Sahagun, T. H., Dos Santos, L. P., Dos Santos, J., Mazzaro, I., & Mikowski, A. (2013). Characterization of blue agave bagasse fibers of Mexico. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 45: 153-161. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2012.09.001>

García-Mendoza, A., & Galván, R. (1995). Riqueza de las familias *Agavaceae* y *Nolinaceae* en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 56: 7-24. <https://doi.org/10.17129/botsci.1461>

González-García, Y., González Reynoso, O., & Nungaray Arellano, J. (2005). Potencial del bagazo de agave tequilero para la producción de biopolímeros y carbohidrasas por bacterias celulolíticas y para la obtención de compuestos fenólicos. *e-Gnosis*, (3): 1-18.

Guanha, M. A., Gómez, C., Mosquera, E. K. B., Villamil, G. A. D., Fiscue, J. D., May, K. & Ordoñez, O. (2016). Desarrollo de Hidrogeles con Fibras Naturales para Aplicaciones Agrícolas. *Informador técnico*, 80(2): 108.

Hernández-Carmona, G., Rodríguez-Montesinos, Y. E., Reyes-Tisnado, R., Arvizuhiguera, D. L., Maurillo-Álvarez, J. L., & Muñoz-Ochoa, M. (2012). Avances tecnológicos en la producción de alginatos en México. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, XIII (2): 155–168.

Hidalgo-Reyes, M., Caballero-Caballero, M., Hernández-Gómez, L. H., & Urriolagoitia-Calderón, G. (2015). Chemical and morphological characterization of *Agave angustifolia* bagasse fibers. *Botanical Sciences*, 93(4): 807–817. <https://doi.org/10.17129/botsci.250>.

House, R. F. (1993). U.S. Patent No. 5,188,064. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Huitrón, C., Pérez, R., Sánchez, A. E., Lappe, P., & Rocha Zavaleta, L. (2008). Agricultural waste from the tequila industry as substrate for the production of commercially important enzymes. *Journal of Environmental Biology*, 29(1): 37–41. <https://doi.org/10.1145/778712.778756>.

Íñiguez, G., Acosta, N., Martínez, L., Parra, J. & González, O. (2005). Utilización de subproductos de la industria tequilera. Parte 7. Compostaje de bagazo de agave y vinazas tequileras. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 17(1): 37-50.



Íñiguez, G., Valadez, A., Manríquez, R., & Moreno, M. V. (2011). Utilization of by-products from the tequila industry: Part 10. Characterization of different decomposition stages of Agave tequilana Webber bagasse using FTIR spectroscopy, thermogravimetric analysis and scanning electron microscopy. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 27(1): 61-74.

Iráizoz, P. A. (2012). Estudio y formulación de nuevos cócteles enzimáticos para la mejora de la producción de etanol a partir de paja de trigo. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. (inédito).

Jiménez-Villadiego, M. E., Padilla González, G. A., & Villabona, A. D. (2012). Evaluación del potencial de absorción del aserrín para remover aceites pesados en cuerpos de agua a escala laboratorio. Tesis licenciatura. Facultad Ingeniería Química. Universidad de Cartagena. (inédito).

Katime, I. A., Katime O., & Katime D. (2005). Materiales inteligentes: Hidrogeles macromoleculares. Algunas aplicaciones biomédicas. *Anales de la real sociedad española de química*, 4: 35-50.

Kiebke, T. M. (1994). U.S. Patent No. 5,361,719. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Kory, D. R., & Hall, G. E. (2000). U.S. Patent No. 6,053,125. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Li, H., Foston, M. B., Kumar, R., Samuel, R., Gao, X., Hu, F. ... Wyman, C. E. (2012). Chemical composition and characterization of cellulose for Agave as a fast-growing, drought-tolerant biofuels feedstock. *RSC Advances*, 2(11): 4951–4958. <https://doi.org/10.1039/c2ra20557b>.

López, G., Ros, G., Rincón, F., Periago, M. J., Martínez, M. C., & Ortuno, J. (1996). Relationship between physical and hydration properties of soluble and insoluble fiber of artichoke. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(9): 2773-2778. <https://doi.org/10.1021/jf9507699>.

Macías, R. R., González, E. G. A., Covarrubias, G. I., Natera, F. Z., López, P. M. G., López, M. A. R., & Pérez, E. S. (2010). Caracterización física y química de sustratos agrícolas a partir de bagazo de agave tequilero. *Interciencia*, 35(7): 515–520. <https://doi.org/10.1177/0959651815621674>.

Martínez-Gutiérrez, A. G., Cruz, A. B., Tinoco, C. E., Cruz, J. Y. L., & Urrestarazu, M. (2015). Effect of particle size and reused organic substrates on tomato crop production. *Journal of plant nutrition*, 38(12): 1877-1884. <http://dx.doi.org/10.1080/01904167.2015.1069333>.

Molina-Hernández, Junior B., Martínez-Correa, Hugo A., & Andrade-Mahecha, Margarita M. (2019). Potencial agroindustrial del epicarpio de maracuyá como ingrediente alimenticio activo. *Información tecnológica*, 30(2): 245-256. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000200245>.



Morales, S. G. (1996). *Metodología de diagnóstico de humedades de capilaridad ascendente y condensación higroscópica, en edificios históricos*. Tesis doctoral. Facultad de Arquitectura. Universidad Politécnica de Madrid). (inédito).

Montes-Vasquez, R. I. (2014). Análisis de las condiciones geográficas y de producción del destilado de agave de Zumpahuacán, Estado de México para la obtención de la denominación de origen de mezcal. Tesis licenciatura en relaciones económicas internacionales. Universidad Autónoma del estado de México. (Inédito).

Mutemi-Muthangya, A., Mshandete, A. M., Hashim, S. O., Amana, M. J. & Kivaisi, A. K. (2013). Evaluation of enzymatic activity during vegetative growth and fruiting of *Pleurotus* HK 37 on *Agave sisalana* saline solid waste. *Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences*, 4 (1): 247-258.

Ochoa-Cauticio, S. I. (2014). Efecto con diferentes dosis de polímero (acrilato de potasio) en trigo para retención de agua en suelos arcillosos en el valle del Yaqui. Tesis licenciatura. Facultad Ingeniería Civil. Instituto Tecnológico de Sonora. (inédito).

Ornelas-Núñez, J.L. (2011). Mejoramiento del método de extracción del mucilago de nopal *Opuntia ficus indica* y evaluación de sus propiedades de viscosidad. Tesis licenciatura. Facultad Químico Farmacobiología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. (inédito).

Pasquel, A. (2011). Gomas: Una aproximación a la industria de los alimentos. Recuperado de <http://bibliotecavirtual.corpmontana.com/bitstream/handle/123456789/3786/M000438.pdf?sequence=5>.

Pejo, M. E. T. (2009). Bioetanol de paja de trigo: estrategias de integración de las etapas de proceso. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. (inédito).

Prinsen, P., Gutiérrez, A., & del Río, J. C. (2010). Composición química de diversos materiales lignocelulósicos de interés industrial y análisis estructural de sus ligninas. Tesis doctoral. Universidad de Sevilla. (inédito).

Petroudy, S. R. D., Ranjbar, J., & Garmaroody, E. R. (2018). Eco-friendly superabsorbent polymers based on carboxymethyl cellulose strengthened by TEMPO-mediated oxidation wheat straw cellulose nanofiber. *Carbohydrate polymers*, 197: 565-575. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.06.008>.

Poletto, M., Zattera, A. J., & Santana, R. M. (2012). Structural differences between wood species: evidence from chemical composition, FTIR spectroscopy, and thermogravimetric analysis. *Journal of Applied Polymer Science*, 126(S1): E337-E344. <https://doi.org/10.1002/app.36991>.

Ramírez, J. 2006. Fundamentos de reología de alimentos. Libro de trabajo. 58pp

Rodríguez-González, S., Martínez-Flores, H. E., Órnelas-Núñez, J. L., & Garnica-Romo, M. G. (2011). Optimización de la extracción del mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*). *XIV Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería*.



Rodríguez-Macías, R., Alcantar González, E. G., Iñiguez Covarrubias, G., Zamora Natera, F., García López, P. M., Ruiz López, M. A., & Salcedo Pérez, E. (2010). Caracterización física y química de sustratos agrícolas a partir de bagazo de agave tequilero. *Interciencia*, 35(7): 515-520.

Runkel, R. O. (1951). Zur Kenntnis des thermoplastischen Verhaltens von Holz. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 9(2): 41-53. <https://doi.org/10.1007/BF02617537>.

San Kong, P., Aroua, M. K., & Daud, W. M. A. W. (2016). Conversion of crude and pure glycerol into derivatives: a feasibility evaluation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 63, 533-555. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.054>.

Sánchez B. 2005. Caracterización Fisicoquímica y funcional de la fibra Dietética del Fruto del Níspero y de Cáscara de Mango Obo. Tesis licenciatura. Ingeniería en alimentos. Universidad Tecnológica de la Mixteca. (Inédito).

Saval, S. (2012). Aprovechamiento de residuos agroindustriales: pasado, presente y futuro. *BioTecnología*, 16(2): 14-46.

Sen, B., & Chandra, T. S. (2007). Chemolytic and solid-state spectroscopic evaluation of organic matter transformation during vermicomposting of sugar industry wastes. *Bioresource Technology*, 98 (8): 1680–1683. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.06.007>.

Skoog, D. A., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2008). Principios de Análisis Instrumental (sexta edición ed.). México: Edamsa Impresiones, S.A de C.V. Cap. 17: 477.

Sun, R. C., Tomkinson, J., Zhu, W., & Wang, S. Q. (2000). Delignification of maize stems by peroxymonosulfuric acid, peroxyformic acid, peracetic acid, and hydrogen peroxide. 1. Physicochemical and structural characterization of the solubilized lignins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(4): 1253–1262. <https://doi.org/10.1021/jf990646>.

Valencia, F. E., & Román, M. O. (2006). Caracterización fisicoquímica y funcional de tres concentrados comerciales de fibra dietaria. *Vitae*, 13(2): 54-60.

Vaughn, S. F., Berhow, M. A., Winkler-Moser, J. K., & Lee, E. (2011). Formulation of a biodegradable, odor-reducing cat litter from solvent-extracted corn dried distiller's grains. *Industrial crops and products*, 34(1): 999-1002. <https://doi:10.1016/j.indcrop.2011.03.005>.

Wise, L. E. (1946). Chlorite holocellulose, its fractionation and bearing on summative wood analysis and on studies on the hemicelluloses. *Paper Trade*, 122: 35-43.

Yin, T., Zhang, X., Liu, X., & Wang, C. (2017). Resource recovery of Eichhornia crassipes as oil superabsorbent. *Marine pollution bulletin*, 118(1-2): 267-274. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.064>.