



## TRANSFORMACIÓN DEL ALMIDÓN DE PAPA, MUCÍLAGO DE NOPAL Y SÁBILA EN BIOPLÁSTICOS COMO PRODUCTOS DE VALOR AGREGADO AMIGABLES CON EL AMBIENTE

### TRANSFORMATION OF POTATO STARCH, NOPAL MUCYLAGA AND BIOPLAST LABELS AS AGGREGATE VALUE PRODUCTS FRIENDLY WITH THE ENVIRONMENT

Angel Issac **Moreno-Bustillos**; Viridiana **Humarán-Sarmiento**; Emma Paulina **Báez-Valdez**; Grace Erandy **Báez-Hernández** y Andrés **León-Villanueva**

#### RESUMEN

La presente investigación experimental se llevó a cabo en el Instituto Tecnológico Superior de Guasave. Con el objetivo de obtener un bioplástico amigable con el medio ambiente, como alternativa al uso de polímeros de origen sintético, y con ello disminuir los impactos ambientales generados por los mismos. Para esto, se consideró como materia prima la papa de rezago como fuente de almidón, además de nopal y sábila regionales, como fuente de mucílago. A partir de las propiedades físico-químicas analizadas mediante los métodos oficiales de la AOAC se determinó el grado de pureza de los materiales y se utilizó glicerina como agente plastificante. Se elaboraron películas de 3mm de grosor por 100 mm de largo, a partir de diferentes concentraciones de los materiales, estableciendo un diseño experimental (DOE)  $2^5$ , dos niveles y cinco factores independientes. Se realizaron 32 tratamientos, con dos replica por tratamiento. Como variables de respuesta se evaluaron cualitativamente: olor, apariencia, facilidad de moldeo y resistencia al tacto. Del total de las muestras analizadas solo 6 tratamientos correspondientes al 18.75% cumplieron con los atributos de resistencia al tacto y facilidad de moldeo.

**Palabras clave:** Polímeros sintéticos, Polímeros naturales, Pruebas de pureza, Calidad.

#### SUMMARY

This experimental research, carried out at the Instituto Tecnológico Superior de Guasave, assesses the obtainment of an environmentally friendly bioplastic, as an alternative to polymers of synthetic origin, and with this, to reduce the environmental impacts generated by them. For this, it was considered the lagging potato as a source of starch, in addition to regional nopal and aloe, as a source of mucilage. Glycerin was used as a plasticizer. In order to determine the purity degree of the materials, physicochemical properties were analyzed by the AOAC official methods. Films of 3mm thick per 100mm long were made from different concentration of the materials, an experimental design (DOE)  $2^5$ , with two levels and five independent factors was established; resulting in 32 treatments, with two replicates per treatment. The response variables: odor, appearance, ease of molding and resistance to touch were evaluated qualitatively. From the total of the analyzed samples only 6 treatments (corresponding to 18.75%) met the attributes of touch resistance and ease of molding.

**Key words:** Synthetic polymers, Natural polymers, Purity tests, Quality.

#### INTRODUCCIÓN

En la actualidad el consumo y dependencia del plástico convencional es alarmante ya que en México se generan 3.8 millones de toneladas de basura plástica al año, según la Asociación Nacional de Industrias del Plástico (ANIPAC) en el 2011. A escala nacional, cerca de 2.8 millones de toneladas al año se dejan de reciclar tanto en procesos mecánicos como energéticos y solo en la ciudad de México se dejan de reciclar 950 toneladas por día de basura plástica. Como dato adicional el 90% de la basura que flota en el mar es material plástico de diversos tipos: polietileno (bolsas de plástico, botellas de refresco y agua), y polipropileno (plásticos duros como tapas de botella y artes de pesca). Estos residuos pueden afectar a

algunas especies de mares, ríos y lagos (SEMARNAT, 2015), lo que provoca un gran deterioro al medio ambiente (agua, aire, suelos), debido a esto, en los últimos años se han buscado nuevas fuentes alternativas para la obtención de plásticos a partir de fuentes renovables como son los bioplásticos, los cuales son similares al plástico convencional, sin embargo su tiempo de degradación es mucho menor, convirtiéndose en una opción más amigables con el medio ambiente.

De manera general, los biopolímeros provienen de cuatro grandes fuentes: origen animal (colágeno/gelatina), origen marino (quitina / quitosan), origen microbiano (ácido poli láctico (pla) y polihidroxialcanoatos (pha) y de origen agrícola (lípidos, proteínas y polisacáridos) (Tharannathan, 2003). Uno de los polisacáridos más importantes es el almidón, el cual a través de modificaciones con aditivos, es capaz de convertirse en un material termoplástico. Se obtiene de distintos cereales como el maíz, trigo, arroz o bien de tubérculos como la papa, entre muchos otros (Rivera, 2015).

El mucílago es un producto que está cobrando interés en diferentes investigaciones científicas y que también podría tenerlo para el sector industrial, los hidrocoloides o mucilagos se pueden extraer de las pencas, hojas y cascaras de los frutos de nopales y sábilas (Sáenz, 1998). El mucílago de *O. ficus* ya ha sido probado en la producción de películas comestibles y recubrimientos, encontrándose que prolonga la vida de anaquel sin afectar el brillo, textura, color, propiedades sensoriales y apariencia general de los alimentos (Del- Valle, Hernández-Muñoz, Guarda, & Galotto, 2005; Espino- Díaz et al., 2010). En esta investigación se usó mucilago de nopal y de sábila.

Por estas razones en la presente investigación se plantea un método de elaboración de un bioplástico a escala de laboratorio a partir de almidón de papa, mucilago de nopal y sábila, que son recursos renovables. Este tipo de plásticos ofrecen la ventaja de que no dañan el medio ambiente como los derivados del petróleo, al ser degradados por el medio ambiente en un lapso de tiempo mucho menor y sin producir contaminantes para el mismo.

## MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

### Materiales

Los materiales a utilizar son:

**Cuadro 1. Materiales y sustancias a utilizar para elaborar bioplástico**

MATERIALES	SUSTANCIAS
Vaso de precipitado	Glicerina
Báscula	Almidón
Parrilla de calentamiento	Mucílago
Pipeta	Agua
Colador	
Varilla de vidrio	

Fuente: Construcción propia

## Equipo

Equipo para realizar los análisis necesarios:

**Cuadro 2. Equipo a utilizar para realización de pruebas**

EQUIPO	PROPÓSITO
Kjeldahl	Prueba de proteína
Extractor de fibra cruda	Prueba de fibra
Mufla	Ceniza
Estufa de secado	Humedad
Liofilizador	Secado mucilago nopal y sábila

Fuente: Construcción propia

## Obtención del almidón de la papa

La extracción del almidón se realizó a nivel laboratorio mediante un proceso manual, el cual es comúnmente utilizado para extraer dicho polisacárido. El proceso es el siguiente:

**Recolección de los tubérculos:** Se llevó a cabo una recolección de las papas que se utilizaron para este proceso, dichas papas no contaban con una calidad excelente para ser consumidas por el hecho de contener impurezas y partes en mal estado.

**Limpieza de las papas:** Este paso consistió en lavar la corteza de las papas y eliminar toda aquella impureza y parte en mal estado, para así disminuir lo que pueda contaminar el almidón obtenido posteriormente.

**Troceado:** Posterior a la limpieza se procedió a cortar las papas en pedazos más chicos (alrededor de 4 cm) para facilitar su trituración en la licuadora.

**Licudo o rayado:** Los pedazos se licuaron durante 1 minuto para reducir aún más el tamaño y facilitar la extracción del almidón. Este proceso se llevó a cabo en una licuadora marca Oster.

**Filtrado:** Una vez licuado se procedió a filtrar la mezcla en una manta cielo para así separar la fibra del almidón, este proceso consiste en verter la mezcla en el filtro y agregarle agua hasta que la misma salga clara del otro lado y no de un color blanquecino.

**Sedimentación:** Una vez realizado el filtrado, el agua con el almidón se dejó reposar durante 24 horas para esperar a que el sobrenadante de almidón se asiente.

**Decantación:** Transcurrido el tiempo, se eliminó el agua decantando el recipiente que la contenía dejando así el almidón en el fondo.

**Secado:** El almidón obtenido se dejó secar durante tres días al sol.

**Triturado:** Transcurrido los tres días de secado, se procedió a moler el almidón ya que quedó unido formando terrones.

## Determinación del grado de pureza del almidón

Para determinar la pureza del almidón se llevaron a cabo ciertos análisis en laboratorio las cuales fueron: proteína cruda (PC) por el método Kjeldahl (1984), cenizas, método 942.05 (AOAC; 1990); fibra cruda (FC), humedad.

*Proteína cruda.* Se inició pesando 1g de muestra, se colocó la muestra en el tubo de digestión.

*Digestión.* Se adiciono 1 g de sulfato de cobre, 17 g de sulfato de sodio, 29 ml de ácido sulfúrico y perlas de vidrio. Luego se llevó a digestión aproximadamente por 3 horas, hasta que la muestra tuvo un color verde intenso, se enfrió.

**Destilación.** Se agregó en un matraz erlenmeyer 50 ml de ácido bórico al 4% y 4 o 5 gotas de rojo de metilo como indicador. Al tubo Kjenldahl se le añadió 200 ml de agua destilada, 90 ml de hidróxido de sodio al 50% y una pizca de granallas de zinc. Se recogió el amoniaco producido en 50 ml de solución de ácido bórico ( $H_3BO_3$ ) hasta completar 150 ml de solución.

**Titulación.** Finalmente se tituló esta solución con ácido clorhídrico hasta que la solución dentro del matraz erlenmeyer cambie de color. El porcentaje de proteína se calcula con la siguiente ecuación:

$$P = \frac{1.4VNF}{PM}$$

Donde:

- P: Proteína
- V: Volumen gastado de HCl
- N: Normalidad del HCl
- F: Factor de conversión de nitrógeno a proteína cruda, en este caso 6.25.
- PM: Peso de la muestra.

**Cenizas.** Se pesaron 2 g de muestra en crisol de porcelana y colocar en horno precalentado a temperatura controlada a 600. Mantener a esta temperatura 2 h. transferir directamente al crisol desecador, enfriar y pesar inmediatamente.

El porcentaje de cenizas se determinó con la siguiente ecuación:

$$\text{Cenizas} = \frac{\text{peso muestra calcinada}}{\text{peso de la muestra seca}} \times 100$$

**Humedad.** Se colocaron los crisoles en el horno secador para que llegaran a peso constante, posteriormente se pesó cada uno y se le agregó 2 g de muestra y se volvió a llevar al horno secador a una temperatura de 105 °C durante 3 horas, transcurrido el tiempo se colocaron en el desecador a que se enfriaran durante 15 minutos y se registró el peso nuevamente.

El porcentaje de humedad se calculó con la siguiente ecuación:

$$\text{Humedad} = \frac{(\text{peso de muestra húmeda} - \text{muestra seca})}{(\text{peso de muestra húmeda})} \times 100$$

**Fibra cruda.** Inicialmente se pesó 2 g de la muestra desengrasada y homogénea en el vaso contenedor de muestra del equipo de determinación de fibra cruda. Se agregó 200 ml de ácido sulfúrico al 1.25% y unas gotas de antiespumante, se desintegraron los grumos con un agitador de vidrio. Se cubrió el vaso con el condensador de pera y se llevó a ebullición durante 30 min. Se filtró la solución en caliente a través del papel filtro, lavando el residuo con agua destilada.

Se llevó el residuo al vaso contenedor con ayuda de 100 ml de agua destilada caliente, se agregó 100 ml de hidróxido de sodio al 1.25 %, se llevó a calentamiento en el montaje sin olvidar cubrir con el condensador de pera, se llevó a ebullición durante 30 minutos. Luego se filtró el líquido a través del papel filtro pesado. Después se transfirió a un crisol previamente pesado y se llevó el papel filtro con la muestra a la mufla durante 50 minutos a 550 °C.

Finalmente se enfrió y peso. La fibra cruda se calculó con la siguiente ecuación.

$$Fibra\ cruda = \frac{(muestra\ digerida\ y\ seca - ceniza)}{peso\ de\ la\ muestra} \times 100.$$

La pureza del almidón se determinó mediante la diferencia. Se calculó con la siguiente ecuación:

$$Pureza = 100 - (fibra\ cruda + prote\i\i na\ cruda + ceniza)$$

### Obtención del mucílago de nopal

**Recolección de las pencas:** Se llevó a cabo una recolección de las pencas que se utilizaron para este proceso, dichas pencas deben contar con una madurez de entre dos a tres años.

**Limpieza:** Este paso consistió en lavar las pencas y eliminar las espinas y toda aquella impureza y parte en mal estado, para así disminuir lo que pueda contaminar el mucílago obtenido posteriormente.

**Pelado:** Se procedió a retirar la cutícula o piel con un cuchillo y dejar intacto en lo más posible el centro de la penca, ya que es donde se encuentra el mucílago.

**Troceado:** Una vez limpia la penca, se corta en trozos de alrededor de un centímetro cuadrado para tener la mayor superficie de contacto con el agua.

**Macerado:** Los trozos se maceran en una proporción 1:2 (nopal:agua) a una temperatura entre 18-20 °C durante 24 horas para obtener la mayor cantidad de mucílago en fase acuosa.

**Primer filtrado:** Transcurrido el tiempo de macerado se filtra extrayendo todo el líquido con el sobrenadante y eliminando los trozos del nopal.

**Sobrenadante:** El mucílago está contenido en el agua turbia filtrada por lo que es necesario agregarle etanol al 96%, en una proporción 1:3 (sobrenadante:etanol).

**Segundo filtrado:** El mucílago empieza a separarse del agua y se necesitó decantar el recipiente para separar ambos.

**Secado:** Una vez obtenido el mucílago se realizó el secado mediante un equipo liofilizador marca LABCONCO (LABCONCO CORPORATION, Kansas City, Missouri), lo cual consiste en colocar el mucílago en charolas y congelarlas para posteriormente poner éstas en el liofilizador para su secado.

**Molienda:** El mucílago seco se molerá para obtener el polvo.

### Determinación del grado de pureza del mucílago de nopal

*Proteína cruda.* Se inició pesando 1 g de muestra, se colocó la muestra en el tubo de digestión.

*Digestión.* Se adiciono 1 g de sulfato de cobre, 17 g de sulfato de sodio, 29 ml de ácido sulfúrico y perlas de vidrio. Luego se llevó a digestión aproximadamente por 3 horas, hasta que la muestra tuvo un color verde intenso, se enfrió.

*Destilación.* Se agregó en un matraz erlenmeyer 50 ml de ácido bórico al 4% y 4 o 5 gotas de rojo de metilo como indicador. Al tubo Kjenldahl se le añadió 200 ml de agua destilada, 90 ml de hidróxido de sodio al 50% y una pizca de granallas de zinc. Se recogió el amoniaco producido en 50 ml de solución de ácido bórico ( $H_3BO_3$ ) hasta completar 150 ml de solución.

*Titulación.* Finalmente se tituló esta solución con ácido clorhídrico hasta que la solución dentro del matraz erlenmeyer cambie de color. El porcentaje de proteína se calcula con la siguiente ecuación:

$$P = \frac{1.4VNF}{PM}$$

Dónde:

- P: Proteína
- V: Volumen gastado de HCl
- N: Normalidad del HCl
- F: Factor de conversión de nitrógeno a proteína cruda, en este caso 6.25.
- PM: Peso de la muestra.

*Cenizas.* Se pesaron 2 g de muestra en crisol de porcelana y colocar en horno precalentado a temperatura controlada a 600. Mantener a esta temperatura 2 h. transferir directamente al crisol desecador, enfriar y pesar inmediatamente.

El porcentaje de cenizas se determinó con la siguiente ecuación:

$$\text{Cenizas} = \frac{\text{peso muestra calcinada}}{\text{peso de la muestra seca}} \times 100$$

*Humedad.* Se colocaron los crisoles en el horno secador para que llegaran a peso constante, posteriormente se pesó cada uno y se le agregó 2 g de muestra y se volvió a llevar al horno secador a una temperatura de 105 °C durante 3 horas, transcurrido el tiempo se colocaron en el desecador a que se enfriaran durante 15 minutos y se registró el peso nuevamente.

El porcentaje de humedad se calculó con la siguiente ecuación:

$$\text{Humedad} = \frac{(\text{peso de muestra húmeda} - \text{muestra seca})}{(\text{peso de muestra húmeda})} \times 100$$

*Fibra cruda.* Inicialmente se pesó 2 g de la muestra desengrasada y homogénea en el vaso contenedor de muestra del equipo de determinación de fibra cruda. Se agregó 200 ml de ácido sulfúrico al 1.25% y unas gotas de antiespumante, se desintegraron los grumos con un agitador de vidrio. Se cubrió el vaso con el condensador de pera y se llevó a ebullición durante 30 min. Se filtró la solución en caliente a través del papel filtro, lavando el residuo con agua destilada.

Se llevó el residuo al vaso contenedor con ayuda de 100 ml de agua destilada caliente, se agregó 100 ml de hidróxido de sodio al 1.25 %, se llevó a calentamiento en el montaje sin olvidar cubrir con el condensador de pera, se llevó a ebullición durante 30 minutos. Luego se filtró el líquido a través del papel filtro pesado. Después se transfirió a un crisol previamente pesado y se llevó el papel filtro con la muestra a la mufla durante 50 minutos a 550 °C.

Finalmente se enfrió y peso. La fibra cruda se calculó con la siguiente ecuación.

$$\text{Fibra cruda} = \frac{(\text{muestra digerida y seca} - \text{ceniza})}{\text{peso de la muestra}} \times 100.$$

La pureza del mucílago se determinó mediante la diferencia. Se calculó con la siguiente ecuación:

$$\text{Pureza} = 100 - (\text{fibra cruda} + \text{proteína cruda} + \text{ceniza})$$

### Obtención del mucílago de la sábila

La obtención del mucílago de la sábila se realizó de la manera más comúnmente utilizada para dicho proceso, el cual consta de los siguientes pasos:

**Recolección de las hojas de sábila:** para la selección de las hojas recolectadas se tomó en cuenta la edad de las mismas, ya que para ser consideradas maduras deben haber transcurrido dos años o más.

**Limpieza:** a las hojas recolectadas se le realizó un lavado para eliminar cualquier suciedad e impureza que pudiera afectar el resultado.

**Separación de la corteza y el mucílago o aloe:** una vez lavadas se procede a obtener el filete (pulpa) que es donde está contenido el mucílago o aloe, para llevar a cabo este paso se utilizó un cuchillo cortando cuidadosamente los lados de la hoja donde se encuentran las espinas para así facilitar la separación del filete, realizado lo anterior se procedió a separar con el cuchillo el mucílago de la corteza, cuidando que en la misma no se vaya demasiado mucílago adherido obteniendo de esta manera el filete.

**Troceado:** obtenido el filete, este se corta en pedazos pequeños de alrededor de 3 centímetros para facilitar el secado y reducir el tiempo del mismo en el liofilizador.

**Secado:** el secado se llevó a cabo mediante un equipo liofilizador marca LABCONCO (LABCONCO CORPORATION, Kansas City, Missouri). Los trozos de filete se colocan en charolas y se congelan (normalmente se dejan congelar durante la noche), posteriormente se colocan en el liofilizador y se dejan hasta que transcurra el ciclo de secado.

**Molienda:** transcurrido el secado, el filete seco se muele para obtener el polvo de mucílago.

Determinación del grado de pureza del mucílago de sábila.

*Proteína cruda.* Se inició pesando 1 g de muestra, se colocó la muestra en el tubo de digestión.

*Digestión.* Se adiciono 1 g de sulfato de cobre, 17 g de sulfato de sodio, 29 ml de ácido sulfúrico y perlas de vidrio. Luego se llevó a digestión aproximadamente por 3 horas, hasta que la muestra tuvo un color verde intenso, se enfrió.

*Destilación.* Se agregó en un matraz erlenmeyer 50 ml de ácido bórico al 4% y 4 o 5 gotas de rojo de metilo como indicador. Al tubo Kjenldahl se le añadió 200 ml de agua destilada, 90 ml de hidróxido de sodio al 50% y una pizca de granallas de zinc. Se recogió el amoniaco producido en 50 ml de solución de ácido bórico ( $H_3BO_3$ ) hasta completar 150 ml de solución.

*Titulación.* Finalmente se tituló esta solución con ácido clorhídrico hasta que la solución dentro del matraz erlenmeyer cambie de color. El porcentaje de proteína se calcula con la siguiente ecuación:

$$P = \frac{1.4VNF}{PM}$$

Donde:

- P: Proteína
- V: Volumen gastado de HCl
- N: Normalidad del HCl
- F: Factor de conversión de nitrógeno a proteína cruda, en este caso 6.25.
- PM: Peso de la muestra.

**Cenizas.** Se pesaron 2 g de muestra en crisol de porcelana y colocar en horno precalentado a temperatura controlada a 600. Mantener a esta temperatura 2 h. transferir directamente al crisol desecador, enfriar y pesar inmediatamente.

El porcentaje de cenizas se determinó con la siguiente ecuación:

$$\text{Cenizas} = \frac{\text{peso muestra calcinada}}{\text{peso de la muestra seca}} \times 100$$

**Humedad.** Se colocaron los crisoles en el horno secador para que llegaran a peso constante, posteriormente se pesó cada uno y se le agregó 2 g de muestra y se volvió a llevar al horno secador a una temperatura de 105 °C durante 3 horas, transcurrido el tiempo se colocaron en el desecador a que se enfriaran durante 15 minutos y se registró el peso nuevamente.

El porcentaje de humedad se calculó con la siguiente ecuación:

$$\text{Humedad} = \frac{(\text{peso de muestra húmeda} - \text{muestra seca})}{(\text{peso de muestra húmeda})} \times 100.$$

**Fibra cruda.** Inicialmente se pesó 2 g de la muestra desengrasada y homogénea en el vaso contenedor de muestra del equipo de determinación de fibra cruda. Se agregó 200 ml de ácido sulfúrico al 1.25% y unas gotas de antiespumante, se desintegraron los grumos con un agitador de vidrio. Se cubrió el vaso con el condensador de pera y se llevó a ebullición durante 30 min. Se filtró la solución en caliente a través del papel filtro, lavando el residuo con agua destilada.

Se llevó el residuo al vaso contenedor con ayuda de 100 ml de agua destilada caliente, se agregó 100 ml de hidróxido de sodio al 1.25 %, se llevó a calentamiento en el montaje sin olvidar cubrir con el condensador de pera, se llevó a ebullición durante 30 minutos. Luego se filtró el líquido a través del papel filtro pesado. Después se transfirió a un crisol previamente pesado y se llevó el papel filtro con la muestra a la mufla durante 50 minutos a 550 °C.

Finalmente se enfrió y peso. La fibra cruda se calculó con la siguiente ecuación.

$$\text{Fibra cruda} = \frac{(\text{muestra digerida y seca} - \text{ceniza})}{\text{peso de la muestra}} \times 100.$$

La pureza del mucílago se determinó mediante la diferencia. Se calculó con la siguiente ecuación:

$$\text{Pureza} = 100 - (\text{fibra cruda} + \text{proteína cruda} + \text{ceniza})$$

## Elaboración del bioplástico

### Diseño experimental

Para elaborar los bioplásticos y comprobar la hipótesis planteada en la presente investigación se realizó un diseño factorial  $2^5$ , manipulando así cinco factores independientes, tales como: almidón, mucílago de nopal, mucílago de sábila, glicerina y agua. Cada uno de estos factores con dos niveles (alto y bajo) realizando una réplica para cada tratamiento.

*Tratamientos.* Se evaluaron 32 tratamientos que resultan de la combinación de los 5 factores a dos niveles cada uno, es decir: dos niveles de almidón \* dos niveles de mucílago de nopal \* dos niveles de sábila \* dos niveles de glicerina \* dos niveles de agua, con una réplica para cada uno de ellos dando un total de 64 tratamientos.

*Variables de estudio.* Las variables dependientes que se evaluaron son:

- Olor
- Apariencia
- Facilidad de moldeo
- Resistencia al tacto

*Determinación de los niveles de los factores.* En vista de que la estructura del bioplástico esta principalmente ligada con la relación almidón-agua de la mezcla, se llevaron a cabo pruebas preliminares donde se varió la relación antes mencionada, variando también la cantidad de mucílago de nopal, sábila, glicerina, temperatura y tiempo.

La relación utilizada almidón-agua fue desde 1:4 hasta 1:10 ya que siendo menor a esto las muestras tienden a fracturarse, el tiempo fue de 20 a 35 minutos y la temperatura desde los 70 hasta los 100 °C. (*Cuadro 3 y 4*).

**Cuadro 3. Prueba preliminar mínima realizada**

Relación 1:4	Cantidad (gr)	
Almidón	5	Temperatura: 70
Agua	20	Tiempo: 30
Mucilago nopal	1	
Mucilago sábila	1	
Glicerina	4	

Fuente: Construcción propia.

**Cuadro 4. Prueba preliminar máxima realizada**

Relación 1:10	Cantidad (gr)	
Almidón	3	Temperatura: 90
Agua	30	Tiempo: 35
Mucilago nopal	2	
Mucilago sábila	3	
Glicerina	1	

Fuente: Construcción propia.

Una vez realizadas las pruebas preliminares, y analizado los resultados, se escogió aquella en la cual el bioplástico presentaba mejores características, elaborando a partir de esta la matriz del diseño experimental. La relación escogida se presenta en el *Cuadro 5*.

**Cuadro 5. Relación almidón-agua utilizada**

MATRIZ	Almidón-agua	Temperatura: 90 °C
Relación	1:9	Tiempo: 30 min.

Fuente: Construcción propia.

Los niveles utilizados de mucílago de nopal, mucílago de sábila y glicerina fueron desde 2 a 3 gramos, (equivalentes a 7.5 y 7.7 %).

En el *Cuadro 6* se especifica cómo quedó la relación de cada uno de los factores tomados en cuenta.

**Cuadro 6. Relación utilizada para el diseño de experimentos**

	Nivel máximo (gr)	Nivel mínimo (gr)	
Almidón	3	2	Temperatura: 90° Tiempo: 30 min.
Agua	22	18	
Mucílago de nopal	3	2	
Mucílago de sábila	3	2	
Glicerina	3	2	

Fuente: Construcción propia.

Las relaciones utilizadas están expresadas en el *Cuadro 7*.

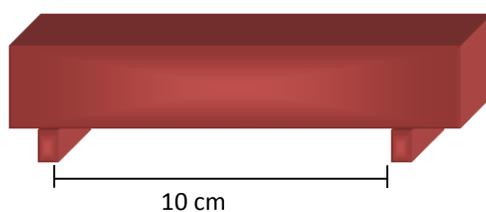
**Cuadro 7. Relación de formulaciones utilizadas**

Formulaciones	Almidón (g)	Agua (g)	Mucílago nopal (g)	Mucílago sábila (g)	Glicerina (g)
1	2	18	2	2	2
2	3	18	2	2	2
3	2	22	2	2	2
4	3	22	2	2	2
5	2	18	3	2	2
6	3	18	3	2	2
7	2	22	3	2	2
8	3	22	3	2	2
9	2	18	2	3	2
10	3	18	2	3	2
11	2	22	2	3	2
12	2	18	2	2	2
13	2	18	3	3	2
14	3	18	3	3	2
15	2	22	3	3	2
16	3	22	3	3	2
17	2	18	2	2	3
18	3	18	2	2	3
19	2	22	2	2	3
20	3	22	2	2	3
21	2	18	3	2	3
22	3	18	3	2	3
23	2	22	3	2	3

24	3	22	3	2	3
25	2	18	2	3	3
26	3	18	2	3	3
27	2	22	2	3	3
28	3	22	2	3	3
29	2	18	3	3	3
30	3	18	3	3	3
31	2	22	3	3	3
32	3	22	3	3	3

Fuente: Construcción propia.

La herramienta utilizada para elaborar las películas a partir de la mezcla obtenida fue una tabla de 10 cm de largo el cual tiene unas bases pequeñas que lo elevan a una altura de 3 mm, dicha medida es el grosor de las películas elaboradas (*Figura 1*).



**Figura 1.** Herramienta para formar las bioplásticos.

### Proceso de elaboración del bioplástico

Se elaboraron las mezclas de las diferentes combinaciones de acuerdo al diseño experimental establecido, se vierte el almidón, el mucílago, la sábila, la glicerina y el agua y se revuelve hasta homogeneizar cuidando que no quede nada adherido a las paredes del recipiente, posteriormente se coloca en la parrilla de calentamiento para que transcurra el tiempo establecido (30 minutos en este caso) y a una temperatura determinada (90 °C) hasta conseguir una pasta gelatinizada uniforme, esto se realizó variando las cantidades utilizadas para los 64 tratamientos establecidos en el diseño experimental. Al finalizar el proceso se obtiene el bioplástico el cual es retirado del recipiente por medio de una espátula y se le hace pasar por encima la herramienta de moldeo para elaborar el bioplástico del grosor deseado. Posteriormente se deja secar a temperatura ambiente hasta que pueda ser retirado y manipulable.

### Determinación de la calidad del bioplástico

La determinación de la calidad (*Cuadro 8*) de los bioplásticos obtenidas con los diferentes tratamientos elaborados, se llevó a cabo mediante el análisis de las siguientes propiedades.

#### **Cuadro 8. Variables de calidad dependientes evaluadas**

##### **Variables de calidad**

Olor  
Apariencia  
Facilidad de moldeo  
Resistencia al tacto

Fuente: Construcción propia.

## Análisis de los bioplásticos

Número de pruebas realizadas. Se llevaron a cabo 64 tratamientos en total, esto por las 32 pruebas del diseño experimental con su respectiva réplica realizada. A cada uno se le realizó el análisis de las variables de calidad tomadas en cuenta y en base a los resultados se escogieron los mejores tratamientos.

**Olor.** Se llevó a cabo mediante el contacto directo con la muestra al momento de su elaboración y de su moldeo, esto para determinar si presenta algún olor desagradable. En el *Cuadro 9* se presenta la escala establecida (A y B) para realizar dicha prueba (*Cuadro 9*).

**Cuadro 9. Escala utilizada para evaluar la variable de olor**

CALIDAD	OLOR
A	Presenta
B	No presenta

Fuente: Construcción propia.

**Apariencia.** Se llevó a cabo por medio del contacto directo de la muestra al momento de su elaboración y moldeo. Esto es si el bioplástico gelatinizó completamente, no presento quemaduras y tiene el color claro característico (*Cuadro 10*).

**Cuadro 10. Escala utilizada para evaluar la variable de apariencia**

CALIDAD	APARIENCIA
A	Gelatinizó completamente
B	No gelatinizó o quemó

Fuente: Construcción propia.

**Facilidad de moldeo.** Se llevó a cabo con el contacto directo de la muestra al momento de realizar su moldeo y elaborar así el bioplástico. Esto es si se desliza con facilidad la herramienta de moldeo sobre la mezcla, si lo hace con cierta dificultad o si es muy viscoso y no se puede moldear (*Cuadro 11*).

**Cuadro 11. Escala utilizada para evaluar la variable de moldeo**

CALIDAD	FACILIDAD DE MOLDEO
A	Fácil moldeo
B	Cierta dificultad
C	No se puede moldear

Fuente: Construcción propia.

**Resistencia al tacto.** Se llevó a cabo con el contacto directo de la muestra al momento de haber transcurrido el tiempo de secado. La medición se realizó de manera manual. El parámetro consta de lo siguiente: presenta resistencia, presenta poca resistencia y no tiene resistencia (*Cuadro 12*).

**Cuadro 12. Escala utilizada para evaluar la variable de resistencia**

CALIDAD	RESISTENCIA AL TACTO
A	Resistente
B	Poca resistencia
C	Mínima resistencia

Fuente: Construcción propia.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La papa, el nopal y la sábila que se utilizó para extraer el almidón y mucílago respectivamente, se recolectó de diferentes lugares de los alrededores de Guasave, utilizando siempre aquella que ya no contaba con la calidad deseada para su venta.

En el *Cuadro 13* se muestra el porcentaje de rendimiento de cada una de las materias primas utilizadas, el cual se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{peso polvo obtenido}}{\text{peso materia prima}} * 100$$

**Cuadro 13. Rendimiento obtenido de la materia prima**

MATERIA PRIMA	RENDIMIENTO
Papa	18%
Nopal	3%
Sábila	5%

Fuente: Construcción propia.

El rendimiento obtenido de almidón de papa, mucílago de nopal coincide con lo descrito por *Arzapalo D. 2015, Ornelas-Nuñez, 2011 y Varon J., 2007* respectivamente, sin embargo, el rendimiento de mucílago de sábila es mayor al obtenido por *Varon J., 2007*.

### Grado de pureza del almidón

Al almidón extraído de la papa se le realizaron diferentes pruebas y parámetros para determinar su calidad. Los resultados se muestran en el *Cuadro 14*.

**Cuadro 14. Resultados de los análisis realizados al almidón**

TIPO DE ANÁLISIS	RESULTADOS
Humedad	15.5%
Proteína	1.48%
Fibra	3.01%
Ceniza	0.25%

Fuente: Construcción propia.

### Pureza del almidón: 95.26%

De acuerdo a los resultados obtenidos la cantidad de humedad está por encima de los registrado por *Hoover, 2001; Sangeetha, 2006*, ya que ellos manejan un rango de entre 7 a 14%. El contenido de fibra es similar a lo manejado por (*Petnamsin et al., 2000; Shamekin et al., 2002*) que lo sitúan alrededor del 3%. La proteína está por encima de lo registrado por (*Alvis A. 2008*) cuyo valor lo sitúa en 1.2%. El contenido de ceniza está por debajo de los reportado por (*Alvis A. 2008*). Las diferencias en cuanto a algunos valores posiblemente son por el método de extracción.

### Grado de pureza del mucílago de nopal

Al mucílago obtenido se le realizaron diferentes pruebas y parámetros para determinar su calidad. Los resultados se muestran en el *Cuadro 15*.

**Cuadro 15. Resultado de los análisis realizados al mucílago de nopal**

TIPO DE ANÁLISIS	RESULTADOS
Humedad	11.02%
Proteína	3.05%
Fibra	2.46%
Ceniza	1.05%

Fuente: Construcción propia.

### Pureza del mucílago: 93.44%

Los resultados obtenidos de proteína, fibra y ceniza están por debajo de lo reportado por *Ornelas-Nuñez, 2011*, cuyos valores son 3.5%, 3% y 11.9% respectivamente, sin embargo Reyes M, *et al.*, 2004 reportan 2%, 1% y 3.5% respectivamente.

### Grado de pureza del mucílago de la sábila

Al mucílago obtenido se le realizaron diferentes pruebas y parámetros para determinar su calidad. Los resultados se muestran en el *Cuadro 16*.

**Cuadro 16. Resultado de los análisis realizados al mucílago de sábila**

TIPO DE ANÁLISIS	RESULTADOS
Humedad	12.2%
Proteína	4.79%
Fibra	4.17%
Ceniza	1.04%

Fuente: Construcción propia.

### Pureza de la sábila: 90%

De acuerdo a los resultados obtenidos la cantidad de proteína es ligeramente más baja que la obtenida por Varon J. 2007 cuyo valor es 5.78%, la fibra resulto menor a lo obtenido por el mismo autor y la ceniza muy similar ya que obtuvo 1.33%, el método de secado puede ser el factor que afecta la variabilidad.

### Análisis del bioplástico

Como se mencionó anteriormente, para evaluar la calidad del bioplástico se tomaron en cuenta cuatro variables dependientes principales: olor, apariencia, facilidad de moldeo y resistencia al tacto. De esta manera en la matriz se podrá observar cuales fueron los resultados después de haber evaluado las muestras. Los valores mostrados son: almidón (Al), agua (Ag), mucílago de nopal (MN), mucílago de sábila (MS) y glicerina (Gl) (*Cuadro 17*).

Cuadro 17. Matriz con los resultados

Formulación	Al (g)	Ag (g)	MN (g)	MS (g)	GI (g)	Olor		Apariencia		Moldeo		Resistencia	
						R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2
1	2	18	2	2	2	A	A	A	A	A	A	B	B
2	3	18	2	2	2	A	A	A	A	A	B	C	A
3	2	22	2	2	2	A	A	A	A	A	A	C	B
4	3	22	2	2	2	A	A	A	A	A	A	A	A
5	2	18	3	2	2	A	A	A	A	A	A	C	B
6	3	18	3	2	2	A	A	A	A	B	B	A	B
7	2	22	3	2	2	A	A	A	A	A	A	C	B
8	3	22	3	2	2	A	A	A	A	A	A	B	B
9	2	18	2	3	2	A	A	A	A	A	A	C	C
10	3	18	2	3	2	A	A	A	A	B	A	C	C
11	2	22	2	3	2	A	A	A	A	A	A	B	B
12	3	22	2	3	2	A	A	A	A	A	A	A	A
13	2	18	3	3	2	A	A	A	A	A	A	A	A
14	3	18	3	3	2	A	A	A	A	A	A	B	C
15	2	22	3	3	2	A	A	A	A	A	A	B	B
16	3	22	3	3	2	A	A	A	A	A	A	A	A
17	2	18	2	2	3	A	A	A	A	A	A	A	A
18	3	18	2	2	3	A	A	A	A	A	A	A	B
19	2	22	2	2	3	A	A	A	A	A	A	C	B
20	3	22	2	2	3	A	A	A	A	A	A	B	B
21	2	18	3	2	3	A	A	A	A	A	A	C	B
22	3	18	3	2	3	A	A	A	A	A	A	C	A
23	2	22	3	2	3	A	A	A	A	A	A	C	C
24	3	22	3	2	3	A	A	A	A	A	A	B	C
25	2	18	2	3	3	A	A	A	A	A	A	C	B
26	3	18	2	3	3	A	A	A	A	A	A	B	A
27	2	22	2	3	3	A	A	A	A	A	A	C	C
28	3	22	2	3	3	A	A	A	A	A	A	A	A
29	2	18	3	3	3	A	A	A	A	A	A	C	B
30	3	18	3	3	3	A	A	A	A	B	A	C	B
31	2	22	3	3	3	A	A	A	A	A	A	C	C
32	3	22	3	3	3	A	A	A	A	A	A	B	A

Fuente: Construcción propia.

Acorde a los resultados obtenidos y como se puede observar en el diseño de experimentos, aquellas muestras que lograron obtener el máximo puntaje son la número 4, la número 12, la número 13, la número 16, la número 17 y la número 28.

La número cuatro tiene una concentración de almidón de 3 gramos, agua 22 gramos, mucílago de nopal 2 gramos, mucílago de sábila 2 gramos y glicerina 2 gramos.

La número doce tiene una concentración de almidón de 3 gramos, agua 22 gramos, mucílago de nopal 2 gramos, mucílago de sábila 3 gramos y glicerina 2 gramos.

La número trece tiene una concentración de almidón de 2 gramos, agua 18 gramos, mucílago de nopal 3 gramos, mucílago de sábila 3 gramos y glicerina 2 gramos.

La número dieciséis tiene una concentración de almidón de 3 gramos, agua 22 gramos, mucílago de nopal 3 gramos, mucílago de sábila 3 gramos y glicerina 2 gramos.

La número diecisiete tiene una concentración de almidón de 2 gramos, agua 18 gramos, mucílago de nopal 2 gramos, mucílago de sábila 2 gramos y glicerina 3 gramos.

La número veintiocho tiene una concentración de almidón de 3 gramos, agua 22 gramos, mucílago de nopal 2 gramos, mucílago de sábila 3 gramos y glicerina 3 gramos.

Por lo que de los resultados obtenidos del total de tratamientos, el 18.75% cumple satisfactoriamente con cada una de las características de calidad medidas, dando como resultado un bioplástico que puede ser utilizado para futuras investigaciones.

## CONCLUSIONES

Las características que obtiene el bioplástico dependen en gran medida de las concentraciones de almidón de papa, mucílago de nopal y mucílago de sábila que se utilizan para su elaboración. Las muestras que presentaron mejores características en base a olor, apariencia, facilidad de moldeo y resistencia al tacto fueron las siguientes formulaciones: cuatro (almidón 3 g, agua 22 g, mucílago de nopal 2 g, mucílago de sábila 2 g y glicerina 2 g), doce (almidón 3 g, agua 22 g, mucílago de nopal 2 g, mucílago de sábila 3 g y glicerina 2 g), trece (almidón 2 g, agua 18 g, mucílago de nopal 3 g, mucílago de sábila 3 g y glicerina 2 g), dieciséis (almidón 3 g, agua 22 g, mucílago de nopal 3 g, mucílago de sábila 3 g y glicerina 2 g), diecisiete (almidón 2 g, agua 18 g, mucílago de nopal 2 g, mucílago de sábila 2 g y glicerina 3 g) y veintiocho (almidón 3 g, agua 22 g, mucílago de nopal 2 g, mucílago de sábila 3 g y glicerina 3 g).

El rendimiento obtenido de almidón de papa y mucílago de nopal es similar a lo descrito por algunos autores anteriormente mencionados, cuyo resultado está entre 17% y 3% respectivamente, sin embargo, el rendimiento del mucílago de sábila fue mayor a las investigaciones consultadas (2%), esto podría deberse a la edad de las hojas utilizadas.

De acuerdo a algunas de las investigaciones que se consultaron, el grado de pureza del almidón de papa y mucílago de nopal es similar a lo establecido por los autores, sin embargo, la pureza del mucílago de sábila está debajo por alrededor de 4% o 5%, esto puede deberse a la forma de extracción.

A una mayor cantidad de almidón el bioplástico tiende a fragmentarse, esto es por las propiedades de la amilosa y amilopectina, por lo que es necesario añadirle más plastificante para evitar esta característica y que sea más flexible el bioplástico obtenida.

### LITERATURA CITADA

- AOAC "Official Methods of Analysis". 1990.
- Asociación Nacional de Industrias del Plástico, A.C. (ANIPAC) (2011) México genera 3.8 millones de toneladas de basura plástica al año, [En línea]. México, disponible en: <http://www.teorema.com.mx/residuos/mexico-genera-3-8-millones-de-toneladas-de-basura-plastica-al-ano-anipac/> [Accesado el día 29 de septiembre del 2017]
- Abraján M. (2008). "Efecto del método de extracción en las características químicas y físicas del mucílago del nopal (*Opuntia ficus-indica*) y estudio de su aplicación como recubrimiento comestible". Valencia.
- May Gutiérrez M. (2009). *Desarrollo de un recubrimiento comestible a base de mucílago de nopal (Opuntia spp.)*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro. Programa de posgrado en alimentos del Centro de la República (PROPAC). México.
- Rivera C. (2015). *Características térmicas, reológicas y estructurales de almidón de sorgo adicionado con mucílago de nopal*. Tesis de Doctorado. Instituto Politécnico Nacional. Centro de Desarrollo de Productos Bióticos. México.
- Ruiz A. (2006). *Obtención y Caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca*. Ingeniería y Ciencias. Volumen 2, Numero 4. Universidad EAFIT. Medellín – Colombia.
- Reyes, L. (2013). Caracterización de dispersión filmogénicas a base de almidón de maíz y ácido oleico en nano emulsión con capacidad de formación de recubrimientos comestibles activos. Título de Maestro en ciencia y tecnología de alimentos. Santiago de Querétaro. México.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), (2015) *Residuos Sólidos Urbanos: la otra cara de la basura*, [En línea]. México, disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/39412/RESIDUOS\\_SOLIDOS\\_URBANOS-\\_ENCARTE.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/39412/RESIDUOS_SOLIDOS_URBANOS-_ENCARTE.pdf) [Accesado el día 02 de octubre del 2017]
- S. Villada H. (2007). *Biopolímeros Naturales Usados en Empaques Biodegradables*. TEMAS AGRARIOS - Vol. 12:(2), Julio - Diciembre 2007. Colombia.
- Tapia D. (2011). Obtención de Películas biodegradables. Universidad de Sao Paulo. Consenso Nacional de Desenvolvimento Científico y Tecnológico. Brasil.

### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios y a nuestras familias por permitirnos implícitamente contribuir con el conocimiento y desarrollo tecnológico para bienestar de la sociedad. Al Instituto Tecnológico Superior de Guasave y al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) Sinaloa, por la disposición del personal y equipo de los Laboratorios de Bioquímica, Tecnología de Alimentos y Biotecnología en el desarrollo de esta investigación.

## SÍNTESIS CURRICULAR

### **Ángel Issac Moreno Bustillos**

Pasante de Ingeniería Industrial, actualmente trabaja como auxiliar de empaque en la empresa Hortícola CG S.A. de C.V. Correo electrónico: isaacmb07@hotmail.com

### **Viridiana Humarán Sarmiento**

Ingeniera Industrial por el Instituto Tecnológico de Los Mochis y Maestra en Ciencia y Tecnología en Ingeniería Industrial y Manufactura por la Corporación Mexicana de Investigación en Materiales S.A de C.V. en el 2009. Profesora- Investigadora de Tiempo Completo del Instituto Tecnológico Superior de Guasave, de la carrera de Ingeniería Industrial. Obtuvo el perfil deseable ante PRODEP en 2017. Correo electrónico: viridianahumaransg@gmail.com

### **Emma Paulina Báez Valdez**

Ingeniera Biotecnóloga por el Instituto Tecnológico de Sonora y Maestra en Ciencias por el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Docente de tiempo completo del Instituto Tecnológico Superior de Guasave, de la carrera de Ingeniería en Industrias Alimentarias. Correo electrónico: emmapaulina\_005@yahoo.com.mx

### **Grace Erandy Báez Hernández**

Ingeniera Industrial por el Instituto Tecnológico de Los Mochis y Maestra en Ciencias en Ingeniería Industrial por Instituto Tecnológico de Hermosillo. Profesora- Investigadora de Tiempo Completo del Instituto Tecnológico Superior de Guasave, de la carrera de Ingeniería Industrial. Obtuvo el perfil deseable ante PRODEP en 2017.. Correo electrónico: gracebaezh@gmail.com.

### **Andrés León Villanueva**

Ingeniero Bioquímico y Maestro en Ciencia y Tecnología de Alimentos por la Universidad Autónoma de Sinaloa, Candidato a Doctor en Ciencias en Biotecnología por el Instituto Politécnico Nacional. Actualmente es docente de asignaturas y Jefe del Departamento de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico Superior de Guasave. Correo electrónico: loeweing@gmail.com