

Datos generales

García Canul Nadia Estephany, López López Sonia Guadalupe, Pacheco Álvarez Amin Edoardo, Rodríguez Quijano Anna Samary.
Ingeniería Biomédica. 5to Semestre. Proyectos V. Dra. Patricia Yolanda Contreras Pool.

“Desarrollo de un Hidrogel de Almidón de Makal para la Liberación de Nanopartículas de Plata”

Idea del proyecto: Las heridas crónicas y con alto riesgo de infección demandan apósitos que combinen el control bacteriano y además den soporte para la reparación tisular. Este proyecto propone aprovechar el almidón extraído del Makal (*Xanthosoma yucatanense*), siendo un recurso local subutilizado, que nos ayudará a formular un hidrogel estructurado con Carbopol e incorporado con nanopartículas de plata (AgNPs) con actividad antimicrobiana. Se extraerá y caracterizará el almidón de makal, realizando pruebas de capacidad de absorción, hinchamiento, solubilidad y morfología, se formularán hidrogeles con distintas concentraciones de almidón y Carbopol, y se incorporarán AgNPs, para generar formulaciones comparativas (control sin Ag y varias dosis de Ag). Los hidrogeles serán evaluados por sus propiedades fisicoquímicas, perfil de liberación de plata, morfología y actividad antimicrobiana. Finalmente, se realizarán ensayos piloto de biocompatibilidad y migración celular para estimar el potencial cicatrizante. El enfoque combina valorización de un biorecurso regional con nanotecnología aplicada, buscando una alternativa sustentable y efectiva para apósitos que aceleren la cicatrización y reduzcan infecciones.

Objetivo:

General: Desarrollar un hidrogel a base de almidón con Makal (*Xanthosoma yucatanense*) adicionado con nanopartículas de plata, con potencial aplicación en la cicatrización de heridas.

Específicos:

- Extraer almidón por el método vía húmeda utilizando Bisulfito de sodio.
- Incorporar nanopartículas de plata al hidrogel previamente formulado a base de almidón.
- Evaluar las propiedades fisicoquímicas del hidrogel modificado (capacidad de absorción, poder de hinchamiento, índice de solubilidad y estabilidad).
- Caracterizar la morfología del hidrogel con nanopartículas mediante microscopía.
- Analizar la actividad antimicrobiana del hidrogel con nanopartículas de plata frente a cepas bacterianas comunes en procesos infecciosos de heridas.
- Valorar el potencial del hidrogel como biomaterial para favorecer la caracterización, a través de pruebas piloto.

Diseño del proyecto

Metodología formulación de hidrogeles

Solución de almidón:

Colocar el almidón (12.5 g) en 250 mL de agua destilada dentro de un vaso de precipitados de 600 mL (borosilicato, marca Pyrex) y agitar a temperatura ambiente (22–25 °C) hasta lograr una dispersión homogénea. La agitación se realiza con un agitador magnético con parrilla calefactora (Cimarec/ Thermolyne modelo 51248 (placa 7 × 7 pulg, agitación 50–1200 rpm, hasta 540 °C) utilizando una barra magnética de 30 mm.

Posteriormente, iniciar un calentamiento progresivo activando la parrilla de calefacción. A medida que

la temperatura aumenta, monitorear la viscosidad del sistema entre los 60 °C, observando cuidadosamente el proceso de gelatinización.

Al alcanzar 60 °C, mantener esa temperatura durante 15 minutos, asegurando agitación constante durante todo el proceso. La temperatura se controla con un termómetro de mercurio (rango 0–110 °C, precisión ± 1 °C), colocado dentro del vaso sin tocar el fondo.

Preparación de la Solución de Carbopol (0.5 % p/v)

Pesar 1.25 g de Carbopol 940 y colocarlo en un vaso de precipitados de 400 mL (borosilicato, marca Pyrex) con 250 mL de agua destilada. Mantener el sistema en agitación constante hasta que la solución se unioforme, utilizando la parrilla con agitador magnético Cimarec/ Thermolyne modelo 51248 (placa 7 × 7 pulg, agitación 50–1200 rpm, hasta 540 °C) y una barra magnética de 25 mm.

Durante la agitación, evitar la formación de espuma o incorporación de aire. Transcurrido el tiempo, verificar que se obtuvo una dispersión homogénea, sin grumos ni aglomerados visibles.

Mezcla y formación de hidrogeles

Combinar las soluciones previamente preparadas de almidón y Carbopol en proporción 1:1 (v/v), es decir, 125 mL de cada una, dentro de un vaso de precipitados de 400 mL (borosilicato, marca Pyrex). Realizar la agitación utilizando la parrilla con agitación magnética marca Thermolyne® Cimarec, modelo 51248 (placa 7 × 7 pulgadas, rango 50–1200 rpm, temperatura máxima 540 °C), equipada con una barra magnética de teflón de 25 mm, manteniendo una velocidad inicial de 300 rpm hasta obtener una mezcla completamente homogénea.

Posteriormente, agregar trietanolamina (TEA) como agente entrecruzante o neutralizante, aplicando adición gota a gota mediante una micropipeta mecánica ajustable marca Eppendorf® Research Plus (rango 20–200 µL) con puntas amarillas estériles.

El proceso de goteo debe realizarse lentamente para evitar incrementos bruscos de pH y permitir una neutralización uniforme.

Mantener la agitación constante pero lenta (150–200 rpm) durante 5 a 15 minutos, controlando visualmente la mezcla para prevenir la formación de burbujas o agregados.

En caso de observar burbujas superficiales, reducir la velocidad de agitación o dejar reposar el sistema durante 2–3 minutos hasta que se eliminen.

Almacenamiento

Transferir las formulaciones obtenidas a multiplacas de 24 pozos (polipropileno, marca Corning®) utilizando una micropipeta de volumen fijo o graduado (1000 µL).

Las multiplacas deben estar ubicadas en la bolsa negra junto con las puntas y tubos estériles, para evitar exposición a la luz y contaminación cruzada.

Una vez llenadas, sellar las multiplacas con su tapa original de poliestireno transparente y conservarlas en refrigeración (4 ± 2 °C) hasta su posterior análisis reológico o visual.

Metodología de pruebas funcionales

Microscopía

Preparar una solución de almidón al 0.5% (p/v). La observación se hizo en un microscopio óptico OMAX 14000 KPA y las imágenes se procesaron con el programa OMAX Toup View 3.7. Por la diferencia en el tamaño de los gránulos, las muestras de makal se observaron en objetivo de 40x mientras que las de aguacate en 100x.

Propiedades de hidratación

Se realizaron con base a la metodología descrita por Toraya et. al. (2016). En un tubo de centrífuga de 50 ml previamente tarado se añadieron 40 ml de una suspensión de muestra (b.s.) al 1 % (p/v). Posteriormente el tubo fue colocado en un baño de agua New Brunswick Scientific R76 a temperatura constante (30, 60, 70, 80 ó 90 °C), proporcionando agitación para mantener la suspensión uniforme durante 30 min. Transcurrido el tiempo se retiró el tubo del baño y se centrifugó en un equipo Hermle Z300 a 2121 x g durante 15 min. Por último, el sobrenadante se recuperó y el gel resultante se pesó. La capacidad de absorción de agua se calculó con base a la siguiente ecuación:

$$\text{Capacidad de absorción de agua} = \frac{\text{Peso de los gránulos hinchados}}{\text{Peso de la muestra B.S}}$$

Del sobrenadante recuperado anteriormente se tomaron 10 ml y se colocaron en un crisol a peso constante. Posteriormente los crisoles se secaron en un horno Fisher Scientific a 120 °C durante 4 horas y, transcurrido el tiempo, se enfriaron y registraron sus pesos. Los cálculos de poder de hinchamiento y solubilidad se realizaron de acuerdo a las siguientes fórmulas:

$$\text{Poder de hinchamiento} = \frac{\text{Peso de los granulos hinchados}}{(\text{Peso de la muestra B.S})(100 - \% \text{Solubilidad})}$$

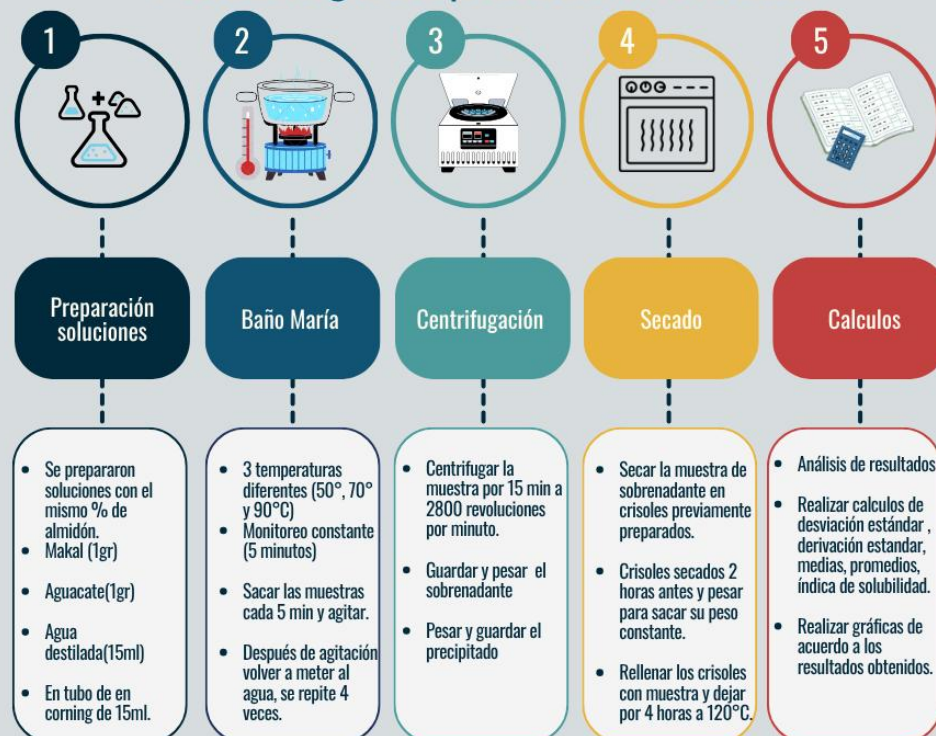
$$\text{Índice de solubilidad}(\%) = \left(\frac{\text{Peso del almidón soluble}}{\text{Peso de la muestra B.S}} \right) (400)$$

Simulación y/o adelante del proyecto

Metodología de hidrogeles

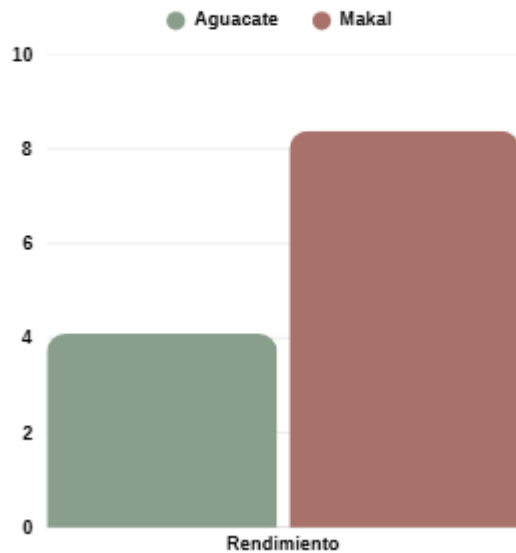


Metodología de pruebas funcionales



Características

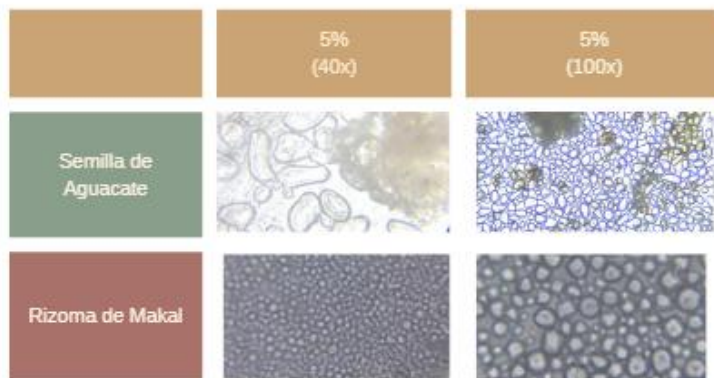
Rendimiento



La gráfica representa el rendimiento que tubo la extracción del almidón obtenido a partir de 2 fuentes sub utilizadas. En ella se observa que el Makal presenta un rendimiento significativamente mayor en comparación del aguacate, lo que indica que tiene una mayor cantidad disponible de almidón.

Makal: 125.4gr Totales de almidón. Aguacate:46.02gr totales de almidón.

Microscopía



La imagen corresponde a un análisis microscópico de los gránulos de almidón obtenidos de ambas fuentes. Observados a dos concentraciones (5%) y con dos aumentos diferentes (40x y 100x). En las micrografías se observa que los gránulos que tuvo el makal son más uniformes y de forma redondeada, mientras que los de aguacate tienen formas más irregulares y una distribución mas variable. Estas diferencias influyen significativamente en las pruebas funcionales.

Formulación de Hidrogeles

Semilla de Aguacate

Concentración

- 1% Carbopool
- 2.5% Almidón

pH: 6.3



Concentración

- 1% Carbopool
- 2% Almidón

pH: 6.7



Concentración

- 1% Carbopool
- 1% Almidón

pH: 6.5



La imagen representa los resultados de los hidrogeles de Aguacate en tres concentraciones diferentes, con un nivel similar de ph.

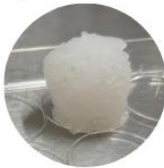
Formulación de Hidrogeles

Rizoma de Makal

Concentración

- 1% Carbopool
- 2.5% Almidón

pH: 7.03



Concentración

- 1% Carbopool
- 2% Almidón

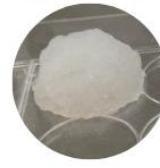
pH: 5.73



Concentración

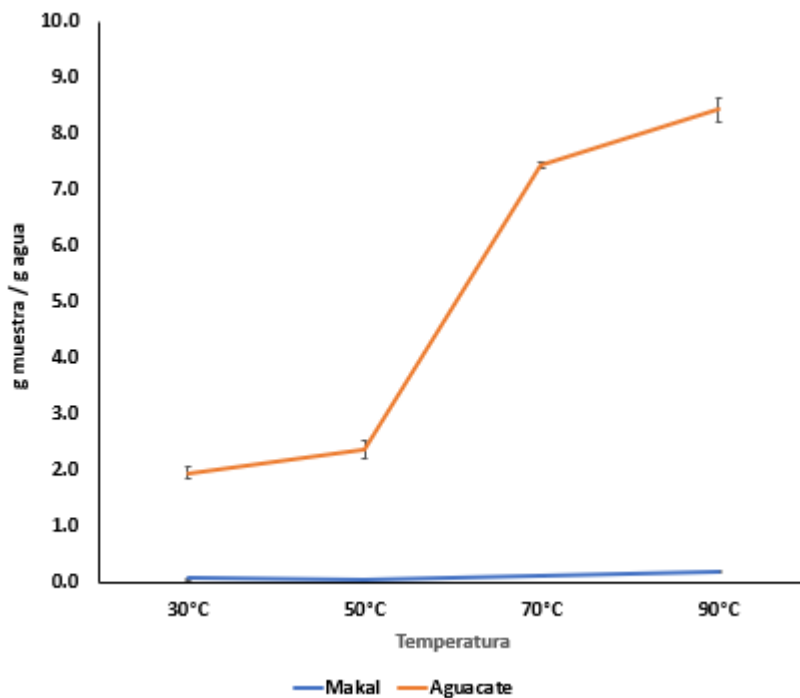
- 1% Carbopool
- 2.5% Almidón

pH: 7.2

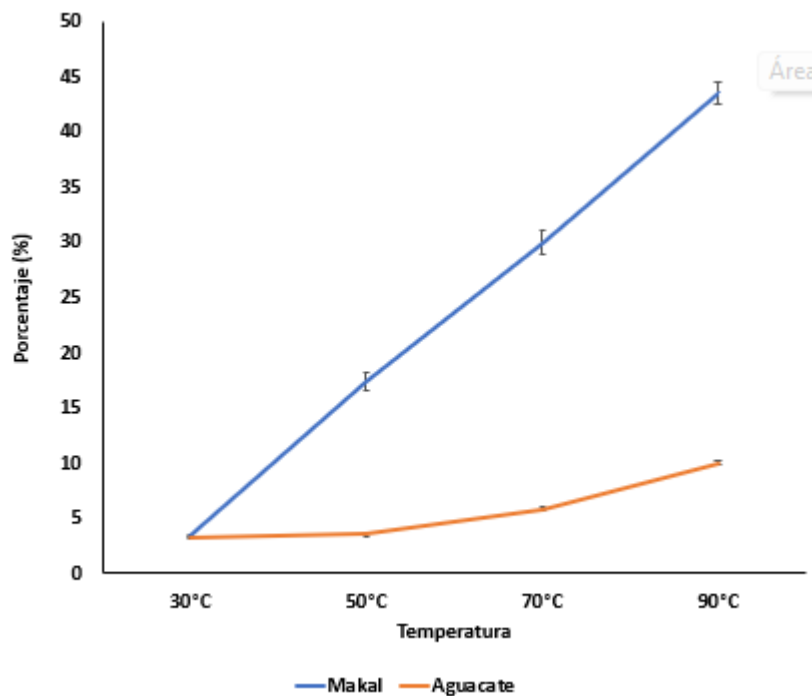


La imagen representa los resultados de los hidrogeles de Makal en tres concentraciones diferentes, con un nivel similar de ph.

Así mismo, se realizó la metodología de pruebas funcionales, dando como resultados:



Esta gráfica representa la capacidad de absorción de agua del almidón obtenido de la semilla de aguacate y del makal. Este parámetro indica la cantidad de agua que los gránulos de almidón pueden retener durante el proceso de hidratación o hinchamiento. Un valor más alto refleja una mayor interacción entre las moléculas de almidón y el agua, lo cual está relacionado con la estructura interna del gránulo y el contenido de amilosa y amilopectina.



Esta gráfica representa el índice de solubilidad (IS) del almidón de aguacate y de makal. Este valor indica la proporción del almidón que se disuelve en el medio líquido después del calentamiento, reflejando el grado de desorganización o ruptura de las estructuras internas del gránulo. Un IS alto sugiere que el almidón es más soluble y presenta una menor estabilidad térmica, mientras que un índice de solubilidad bajo indica una mayor resistencia estructural. Por lo tanto, esta gráfica permite analizar el comportamiento térmico y la estabilidad del almidón, aspectos fundamentales para determinar su idoneidad en procesos donde se requiere mantener la integridad del material bajo condiciones de calor o humedad.