

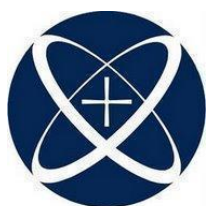
INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE OCCIDENTE

Departamento de Matemáticas y Física

Sustentabilidad y Tecnología

PROYECTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL (PAP)

Programa de Apoyo a la Investigación en Nanociencias y Nanotecnología I



ITESO
Universidad Jesuita
de Guadalajara

PAP4I03: Dispositivos médicos nanoestructurados

Hidrogeles superabsorbentes biobasados

PRESENTAN

Ing. en Nanotecnología. Mariana Artemisa Diaz Meza

Ing. en Nanotecnología. Fernando André Holguin Ochoa

Ing. en Nanotecnología. José Guillermo Venegas Sánchez

Profesor PAP: Yenni Velázquez Galván

Tlaquepaque, Jalisco, México, diciembre del 2023.

ÍNDICE

Contenido

REPORTE PAP	2
Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional	2
Resumen	2
1. Introducción.....	3
1.1. Objetivos	3
1.2. Justificación.....	4
1.3 Antecedentes	6
1.4. Contexto.....	7
2. Desarrollo	9
2.1. Sustento teórico y metodológico.....	9
2.2. Planeación y seguimiento del proyecto	10
3. Resultados del trabajo profesional.....	29
4. Reflexiones del alumno o alumnos sobre sus aprendizajes, las implicaciones éticas y los aportes sociales del proyecto	36
5. Conclusiones.....	42
6. Bibliografía.....	44
Anexos	46

REPORTE PAP

Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional

Los Proyectos de Aplicación Profesional (PAP) son una modalidad educativa del ITESO en la que el estudiante aplica sus saberes y competencias socio-profesionales para el desarrollo de un proyecto que plantea soluciones a problemas de entornos reales. Su espíritu está dirigido para que el estudiante ejerza su profesión mediante una perspectiva ética y socialmente responsable.

A través de las actividades realizadas en el PAP, se acreditan el servicio social y la opción terminal. Así, en este reporte se documentan las actividades que tuvieron lugar durante el desarrollo del proyecto, sus incidencias en el entorno, y las reflexiones y aprendizajes profesionales que el estudiante desarrolló en el transcurso de su labor.

Resumen

El proyecto de investigación y desarrollo se enfoca en la creación de un hidrogel superabsorbente utilizando materiales orgánicos como lo es la carboximetil celulosa (CMC), un prepolímero elaborado con sorbitol y ácido cítrico, junto con un procesamiento de entrecruzamiento térmico. El objetivo principal de este proyecto es poder estudiar y optimizar cada etapa del proceso para así identificar la formulación ideal de estos componentes, para producir un hidrogel altamente absorbente, biodegradable y adecuado para su aplicación en productos de higiene personal.

En este desarrollo se involucraron diferentes técnicas de caracterización para estudiar a fondo sus características, utilizando un microscopio electrónico de barrido (SEM) para estudiar su morfología y su microestructura, pruebas termogravimétricas (TGA) con la intención de medir los cambios en la masa de una muestra con respecto a la temperatura, además se aplicaron pruebas de absorción libre, de absorción bajo presión mecánica y pruebas para evaluar su capacidad de retención centrifuga, con el fin de someter las

muestras sintetizadas a pruebas que se utilizan actualmente en materiales superabsorbentes.

1. Introducción

1.1. Objetivos

Objetivo general

El propósito fundamental de este proyecto es avanzar en el desarrollo de un hidrogel superabsorbente biodegradable diseñado específicamente para aplicaciones en productos de higiene personal. Para alcanzar este objetivo, se emplea una combinación de materiales, incluida la carboximetil celulosa, junto con un prepolímero, seguido de un proceso de entrecruzamiento térmico para optimizar la reacción.

El enfoque meticuloso en la selección y combinación de estos materiales, así como en los procesos de síntesis, tiene como finalidad lograr un hidrogel con propiedades excepcionales de absorción, al mismo tiempo que respeta los criterios de biodegradabilidad, contribuyendo así a una solución sostenible en el ámbito de la higiene personal.

Para lograr el objetivo general y validar la hipótesis, se han definido objetivos específicos dentro del desarrollo del proyecto:

- Determinar condiciones óptimas de prepolimerización del hidrogel.
- Establecer tiempo y temperaturas ideales para el entrecruzamiento del hidrogel.
- Optimizar la capacidad de absorción y sensibilidad iónica del material.
- Caracterizar la microestructura del hidrogel mediante microscopía electrónica de barrido (SEM).
- Evaluar las propiedades de retención y absorción bajo presión del material.
- Comparar el material sintetizado con otros superabsorbentes comerciales.

La estrategia propuesta implica ajustar las proporciones de prepolímero y las condiciones de entrecruzamiento para maximizar la capacidad de absorción, biodegradabilidad y

resistencia mecánica del hidrogel. Esto permitirá la creación de un modelo para fabricar materiales con características especiales, aplicables en diversas áreas, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y eficacia del producto final.

Este estudio se respalda con diversas caracterizaciones. Se emplea microscopía electrónica de barrido (SEM) para estudiar la microestructura del hidrogel. Además, se realizan pruebas termogravimétricas (TGA) para comprender el efecto del calor en el proceso de entrecruzamiento y determinar el tiempo óptimo del tratamiento térmico.

La caracterización de la parte absorbente incluye pruebas de absorción libre y bajo presión, utilizando agua destilada y agua salina al 0.9% para evaluar sensibilidad iónica, capacidad de absorción, retención bajo presión y en centrifuga. Estos análisis completos respaldan la validez y aplicabilidad de los resultados obtenidos en el desarrollo del hidrogel superabsorbente.

1.2. Justificación

El desarrollo de este material a partir de biomateriales para su aplicación en distintas áreas, en particular en los productos de higiene, tiene la capacidad de generar un gran impacto y traer consigo muchos beneficios. A continuación, se destacan algunas razones clave y ventajas que brinda este proyecto:

- 1. Sustentabilidad ambiental:** Los hidrogeles superabsorbentes convencionales, como el poliacrilato de sodio, son altamente no biodegradables y persisten en el medio ambiente durante décadas. Un nuevo hidrogel biobasado puede reducir la acumulación de residuos y así dejar de depender de materiales no renovables [1].
- 2. Sostenibilidad:** La producción de estos nuevos materiales biodegradables fomenta la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental en la industria de productos de higiene, esto puede provocar que al tener más opciones de materiales superabsorbentes que compitan directamente con los utilizados hoy en día, se cree un factor importante para las empresas y los consumidores que busquen opciones más responsables con el ambiente [2].

- 3. Salud pública:** Al implementar esta tecnología en productos cotidianos de higiene como lo son las toallas femeninas y los pañales desechables, se puede garantizar que estos productos sean seguros tanto para las personas como para el medio ambiente [3].
- 4. Normativas y regulaciones:** En muchos lugares del mundo, se están implementado regulaciones más estrictas sobre el uso de materiales plásticos no biodegradables. Desarrollar materiales más amigables con el medio ambiente es una excelente alternativa para anticipar cambios normativos [4].
- 5. Educación ambiental:** Este proyecto busca fomentar a que se puede contribuir a la concienciación ambiental al resaltar la importancia de utilizar materiales más responsables con el ambiente, además de alentar a consumidores sumarse a la causa de utilizar materiales más amigables con nuestro entorno, de la misma forma se busca enseñar a los jóvenes que es posible desarrollar nuevas alternativas que pueden ser aplicadas a productos del uso diario [5].

En resumen, se busca que este proyecto no solo resuelva un problema, sino que también genere un impacto social significativo al abordar cuestiones ambientales que necesitan atención urgente, promover la sustentabilidad y mejorar la calidad de vida de las personas al ofrecer productos de higiene más ecológicos y responsables.

Esto se planea lograr a base de investigar la utilidad de la celulosa, destacando sus propiedades como hidrofobicidad, quiralidad y biodegradabilidad. Esta última la establece como fuente renovable de materiales amigables con el medio ambiente. La carboximetilcelulosa, derivado polielectrolítico de la celulosa, con grupos carboxilo e hidroxilo, resulta vital en varias industrias, actuando como agente estabilizante y aglutinante.

La formación de hidrogeles, a través del entrecruzamiento de polímeros, ofrece variedad de aplicaciones en medicina e industria. Tanto como las pruebas de tritación, un análisis

cuantitativo, precisan la concentración exacta de reactivos, siendo esenciales para este proyecto centrado en optimizar procesos y materiales.

1.3 Antecedentes

Los poliacrilatos superabsorbentes (SAP) han experimentado una notable evolución desde su descubrimiento en la década de 1960 [6]. Su descubridor S. Fujita los utilizó para productos médicos, como apósitos y compresas. En la siguiente década se ampliaron las aplicaciones ya que a su vez se fueron mejorando sus propiedades de absorción sobre presión y la capacidad de retención, además de hacerlos más eficientes y cómodos. Es aquí cuando se empiezan a utilizar en productos de higiene personal, como pañales desechables y productos para la gestión de la incontinencia.

Con anterioridad, polímeros sintéticos desarrollados a base de petróleo, son conocidos por liberar componentes tóxicos al medio ambiente siendo consecuentemente insanos y dañinos al medio ambiente, por lo que en la actualidad se utiliza el poliacrilato de sodio como polímero superabsorbente en artículos de higiene personal.

En la actualidad, diversas empresas líderes en diferentes sectores industriales implementan el uso de poliacrilatos superabsorbentes, destacándose por su aplicación en productos de cuidado personal y otras áreas. Empresas como Procter & Gamble (P & G) y Kimberly-Clark han implementado el uso de poliacrilatos superabsorbentes en su gama de producción de pañales desechables, productos de higiene femenina y cuidado para adultos [7][8]. Estos ejemplos en empresas multinacionales dan un indicio de que existe una gran oportunidad de negocio de encontrar un hidrogel biobasado superabsorbente que asimile sus propiedades a los poliacrilatos utilizados en la industria.

En el contexto de la búsqueda de alternativas, se ha observado un creciente interés en el desarrollo de hidrogeles superabsorbentes biobasados como sustitutos más seguros y amigables con el medio ambiente. Diversos estudios y trabajos científicos han explorado la síntesis, procesos de fabricación y propiedades de estos hidrogeles [9].

Estos trabajos de investigación han abordado aspectos como la selección de materias primas biodegradables, métodos de síntesis, estructura molecular, capacidad de absorción, resistencia mecánica y degradación. Además, se han evaluado aplicaciones potenciales en áreas como la agricultura, la medicina y la industria de la higiene personal. La transición hacia el uso de polímeros superabsorbentes basados en poliacrilato de sodio ha representado un paso significativo hacia alternativas más seguras y respetuosas con el medio ambiente.

Los hidrogeles superabsorbentes biobasados presentan propiedades que los hacen idóneos para su aplicación en diversos campos, incluyendo su capacidad de retener grandes cantidades de agua y liberarla de manera controlada, lo que resulta beneficioso en aplicaciones en higiene personal como pañales desechables y toallas femeninas. Su biodegradabilidad y menor impacto ambiental son características que los hacen particularmente atractivos en el contexto actual de conciencia ambiental y sostenibilidad.

1.4. Contexto

La industria de materiales superabsorbentes ha desempeñado un papel fundamental en una amplia variedad de aplicaciones. La demanda de estos materiales se ha mantenido constante a lo largo de los años debido a sus propiedades de absorción excepcionales. Sin embargo, esta misma demanda ha suscitado preocupaciones económicas y ambientales.

Desde el punto de vista económico, el aumento en la producción y el uso de materiales superabsorbentes ha llevado a una mayor competencia y, en algunos casos, a una presión en los costos de producción. Las empresas se enfrentan a la necesidad de cumplir con regulaciones más estrictas y, en algunos casos, enfrentan sanciones o restricciones al uso de materiales no biodegradables. Esto ha generado la necesidad de buscar soluciones que cumplan con las demandas del mercado y al mismo tiempo sean económicamente viables.

En el ámbito ambiental, la problemática radica en la falta de biodegradabilidad de los poliacrilatos comerciales, lo que resulta en una acumulación a largo plazo en vertederos y

áreas de disposición de residuos. Los pañales desechables representan el 2% de los residuos sólidos domésticos [3]. Las toallas femeninas están constituidas de un 20% de poliacrilato de sodio y en México se generan 34,200 toneladas mensuales de basura en absorbentes menstruales [10] por lo que estos datos nos dan una dimensión del volumen de desperdicio que se genera regularmente, tomando en cuenta que no es biodegradable y forma parte del agua residual y permanece durante muchos años absorbiendo la humedad. Su capacidad para retener agua puede afectar negativamente la vegetación en zonas donde se utiliza, lo que plantea preocupaciones en la agricultura y la conservación del suelo. Estos impactos ambientales han llamado la atención de las autoridades y organizaciones ambientales, que están promoviendo una gestión más responsable de los materiales superabsorbentes.

En respuesta a estas preocupaciones ambientales, se han generado normas y regulaciones que buscan limitar o controlar el uso de materiales no biodegradables en ciertas aplicaciones. Por ejemplo, la Norma ISO 9001 gestiona la fabricación y calidad de materiales superabsorbentes y la Norma ISO 14001 está impulsando medidas para reducir la huella ambiental de estos materiales en aplicaciones específicas [4].

En este contexto económico, ambiental y normativo, surge la oportunidad de desarrollar y comercializar un hidrogel superabsorbente biobasado, que puede abordar las preocupaciones económicas, ambientales y las regulaciones en evolución. La mayor limitante es conseguir propiedades similares a los poliacrilatos utilizados comercialmente conservando un precio competitivo y una escalabilidad que sea rentable para las empresas.

Este proyecto busca contribuir a la transición hacia una industria más sostenible y respetuosa con el entorno, al tiempo que cumple con las necesidades del mercado.

2. Desarrollo

2.1. Sustento teórico y metodológico

Se refirió al uso de celulosa gracias a sus propiedades características como hidrofobicidad, quiralidad y biodegradabilidad, con esta última característica se demuestra como un material que representa una de las fuentes más grandes y renovables de materiales crudos respetuosos con el medio ambiente. La carboximetilcelulosa al ser un derivado de celulosa polielectrolítica que contiene grupos carboxilo e hidroxilo se convierte en un material importante en diversas industrias, especialmente como agente estabilizante y aglutinante [11].

La formación de hidrogeles implica el entrecruzamiento químico o físico de polímeros, tales como polisacáridos y proteínas. Este procedimiento resulta en una amplia variedad de hidrogeles que exhiben propiedades claramente definidas, abarcando desde características químicas hasta físicas, ofreciendo aplicaciones diversas en campos como la medicina, la industria y la investigación científica [12].

Al realizar las pruebas de tritación a las disoluciones de los prepolímeros, también denominada valoración, constituye un procedimiento de análisis químico cuantitativo empleado en el laboratorio para establecer con precisión la concentración de un reactivo cuya concentración se conoce solo de manera aproximada, estos ensayos posibilitan la identificación precisa de la cantidad de ácido cítrico que no ha participado en una reacción, brindando información valiosa sobre la cantidad residual de este compuesto en una muestra o sistema específico [13].

2.2. Planeación y seguimiento del proyecto

- **Descripción del proyecto**

Desarrollo de un hidrogel superabsorbente biobasado (SAP) que pueda ser implementado principalmente en la industria de higiene personal como en pañales desechables y toallas femeninas. Buscan replicar lo más posible las propiedades

físicas como la absorción por medio de pruebas de absorción libre con agua destilada y en agua salina, además la resistencia mecánica en base a pruebas de retención en centrifugadora y pruebas bajo presión, además de competir en cuestión de escalabilidad y costos al poliacrilato de sodio que es el material que actualmente se usa en su mayoría para dichas aplicaciones.

- **Proceso de desarrollo**

Para llevar a cabo el desarrollo se realizan procesos de síntesis y caracterización del hidrogel. La síntesis comprende:

1. Preparación del prepolímero: Se prepara el prepolímero con proporciones distintas de ácido cítrico y sorbitol, cuando se tiene una solución homogénea se somete a distintas horas bajo temperatura.
2. Síntesis del hidrogel: El prepolímero se combina con el polímero de CMC y agua destilada, después de tener una mezcla homogénea se somete un secado durante un tiempo prolongado para eliminar el agua del hidrogel. Cuando se tiene una oblea totalmente seca se somete a trituración y tamizado y su posterior entrecruzado térmico.

El proceso de caracterización entra en distintas etapas del desarrollo del hidrogel.

1. Pruebas de Tritación del Prepolímero: Estas pruebas permiten determinar la cantidad de ácido cítrico sin reaccionar presente después de un período bajo temperatura.
2. Pruebas de Absorción: Se llevan a cabo pruebas de absorción utilizando agua destilada y una solución de agua salina al 0.9%, que simula la orina, para evaluar la sensibilidad iónica del hidrogel.
3. Pruebas de Resistencia Mecánica: Se evalúa la capacidad del hidrogel para resistir fuerzas mecánicas simulando un uso en la vida real.

4. Análisis de Microestructura: Se utilizan muestras ultracongeladas y liofilizadas para realizar observaciones bajo un microscopio electrónico de barrido (SEM) con el fin de evaluar la porosidad y obtener información visual detallada sobre la estructura del entrecruzado.
5. Análisis de pérdida de masa: Se realiza un análisis termogravimétrico (TGA) para evaluar la relación de pérdida de peso y entrecruzado a lo largo del tiempo bajo temperatura constante.

Estas etapas de síntesis y caracterización son fundamentales para garantizar que el hidrogel SAP cumpla con los estándares de calidad y rendimiento requeridos en aplicaciones de higiene personal, al tiempo que aborde las preocupaciones ambientales y las demandas del mercado.

- **Plan de trabajo**

Se contó con un periodo de 16 semanas para la realización del producto, que conlleva aspectos desde la investigación previa en literatura ya existente, la parte de experimentación variando distintos parámetros para el posterior análisis de las propiedades físicas y caracterización por medio de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) y de un Análisis Termogravimétrico (TGA) para observar la estructura del hidrogel, redacción del documento y entrega final.

- Las actividades que se consideran: procesos experimentales principalmente en Laboratorio de Procesos Químicos. Equipos complementarios en Laboratorios de Ingeniería Química e Ingeniería en Alimentos. Caracterización de muestras en Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) y Análisis Termogravimétrico (TGA).
- Recursos necesarios: como participantes principales de la investigación se tuvieron 3 estudiantes que llevaron a cabo las actividades antes

mencionadas, guiados por un asesor y la jefa del proyecto de investigación. Los materiales requeridos para esta investigación son:

Los reactivos utilizados son:

- Ácido cítrico anhidro
- Sorbitol al 70%
- Hidróxido de sodio
- Fenolftaleína
- Carboximetil celulosa (CMC) (DS 0.6)
- Sal sódica carboximetilcelulosa (DS 0.7)
- Cloruro de sodio
- Agua destilada
- Alcohol etílico
- Isopropanol
- Acetona

Los distintos requeridos para llevar a cabo el proyecto de investigación son:

- Plancha magnética
- Mufla
- Balanza analítica
- Máquina de vacío
- Trituradora
- Tamizadora
- Agitador mecánico
- Ultracongelador
- Liofilizadora

- Fechas previstas: se realizó una reunión semanal para discutir los resultados de la semana en curso y realizar la planificación de actividades detalladas para la semana siguiente como tareas específicas a desempeñar y horarios en los cuales se llevarían a cabo. Cada viernes se realizó una presentación en la cual se mencionan aspectos trabajados durante la semana y un adelanto de lo planificado para la siguiente semana.

En la *Imagen 1* se muestra el cronograma del cual se fueron detallando las distintas etapas de la investigación en cuestión de las semanas del curso.

	Agosto			Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
Planeación																
Lectura de artículos científicos	X															
Planeación de proyecto y objetivos		X							X							
Análisis de síntesis		X	X						X	X						
Sintetizar hidrogeles de carboximetil celulosa				X	X	X	X	X		X	X		X	X	X	
Preparación de pre-polímero como agente entrecruzante.										X				X		
Entrecruzamiento superficial por método térmico											X		X	X	X	
Caracterizar muestras								X	X	X	X	X		X	X	
Pruebas de absorción							X	X	X		X	X	X	X		

Imagen 1 - Cronograma de actividades del proyecto

Durante la Semana 1 y 2 se inició la etapa de preparación, donde se llevó a cabo la investigación, la cual consistió en lectura de artículos científicos e información ya validada para ir conociendo a fondo el tema. Se hizo la planificación tentativa de las etapas y actividades a realizar durante el curso.

A partir de la Semana 3 se inició con la etapa experimental. Esta etapa comenzó con la síntesis del prepolímero variando distintos parámetros como la temperatura, tiempo bajo temperatura, tiempo de secado y proporciones para encontrar los que presentaron menor cantidad de ácido cítrico libre por medio de una prueba de tritación, esto con el fin de obtener un prepolímero que pueda encadenar una mejor polimerización en la estructura del hidrogel.

Tomando en cuenta los mejores prepolímeros se acotaron las opciones para proseguir con la síntesis del hidrogel, donde el parámetro que se varió fue el tiempo y temperatura de entrecruzamiento, relación en la proporción de ácido cítrico:sorbitol y el porcentaje de prepolímero añadido al peso total del polímero. Las distintas muestras que se obtuvieron de hidrogel se llevaron a caracterizar al Microscopio Electrónico de Barrido (SEM) para observar su estructura.

Durante el proceso de desarrollo se fueron llevando a cabo partes de distintas etapas de forma simultánea como la síntesis del prepolímero, síntesis del hidrogel, secado, entrecruzado, pruebas de absorción, pruebas de tritación, microscopías en SEM y en microscopio óptico. Esto con el fin de ir mejorando las formulaciones e ir encontrando los parámetros que mejores resultados arroja, para así poder obtener un comportamiento de absorción de agua salina comparable con poliacrilatos comerciales, además de llevar a cabo muestras y pruebas como duplicados para tener mayor veracidad en los datos obtenidos en las distintas pruebas de caracterización.

De la semana 14 a la 16 se realizó el análisis exhaustivo de la información recopilada durante el proyecto de investigación. Se analizaron los datos de las distintas pruebas, así como las imágenes obtenidas del SEM y las gráficas del TGA. El organizar correctamente la información brinda un panorama más claro de lo que se consiguió en el apartado de desarrollo y se busca comparar con referencias de poliacrilatos comerciales para notar sus similitudes.

- **Desarrollo de propuesta de mejora**

El desarrollo de este proyecto se dividió en distintas etapas de síntesis y de caracterización. La síntesis se divide en la elaboración del prepolímero y la síntesis del hidrogel, la cual lleva a cabo un protocolo y un procedimiento específico para obtener resultados que contemplen los mismos parámetros como variables.

Síntesis de prepolímero

La elaboración del prepolímero es un paso esencial de nuestra investigación, este consta de una mezcla de ácido cítrico y sorbitol, la cual es sometida a un proceso térmico para que se lleve a un punto deseado de esterificación. Para realizar la síntesis de este material se pesan las cantidades de ácido cítrico y sorbitol de acuerdo con la relación que se esté utilizando, por cada gramo de ácido cítrico se añade un mililitro de agua destilada para ayudar a disolver la mezcla, se revuelve la mezcla hasta que obtenga una consistencia uniforme y se ingresa a la mufla durante el tiempo deseado a cierta temperatura para llegar al punto adecuado de esterificación [13].

Las primeras proporciones de AC:Sorbitol que se realizaron fueron 1:1, 2:1, 3:1, 4:1, 5:1 y 6:1. Donde se realizaron los cálculos necesarios para añadir de manera correcta

ambos reactivos, contemplando que la concentración del sorbitol es del 70%. Estos PP se sometieron a las mismas condiciones de síntesis, las cuales fueron sacar muestra a 1 hora, 2 horas y 3 horas de la mufla a 120°C constantes, como se muestra en la *Imagen 2*, ya que solo se buscaba tener como variable la proporción AC:sorbitol. Posterior en la investigación se amplió el rango de tiempo bajo temperatura, las cuales llegaron hasta 8 horas bajo el proceso térmico de los PP con proporción 1:1 y 4:1.

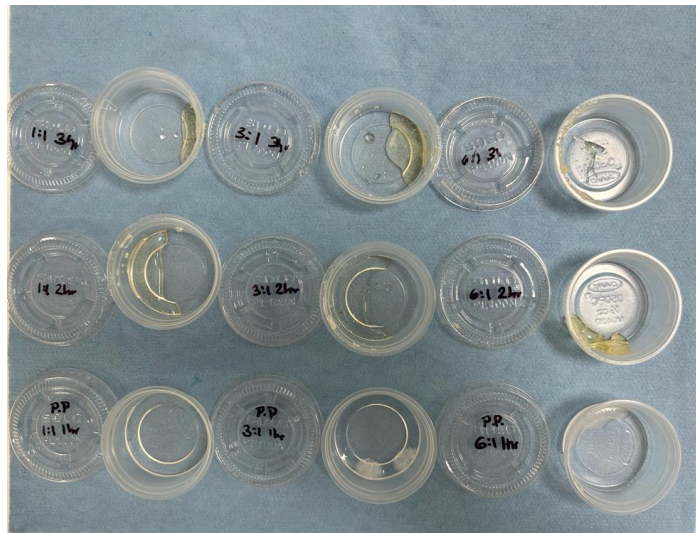


Imagen 2 - Primeros prepolímeros proporción 1:1, 3:1 y 6:1 con 1 hora, 2 horas y 3 horas bajo temperatura

Síntesis de hidrogel

Los hidrogeles superabsorbentes se sintetizan en tres etapas, la primera es la mezcla de los componentes, la segunda es el secado, molido y tamización del material, y la tercera consta del proceso de entrecruzado del material.

El que hidrogel está constituido de un 3% carboximetil celulosa (CMC) junto con un porcentaje de prepolímero y el resto de la composición de agua destilada, para

esto se comienza pesando las cantidades de CMC y el agua para después mezclar de forma gradual para obtener una disolución más homogénea. Después se hace una disolución al 1% de prepolímero para así poder incorporar de una manera sencilla al polímero. Los porcentajes de prepolímero que se utilizaron fueron de 0.5% y 1.0%, donde en pasos posteriores se realizaron distintas pruebas que brindaron información de cuál es mejor opción.

Para la segunda etapa, se ingresa el material a secar en una deshidratadora de alimentos durante 24 horas a una temperatura de 60°C; después con el material ya seco se introduce a un triturador para obtener un material con dimensiones comparables a las de la sal de mesa, finalmente el material resultante se somete a un proceso de tamizado con el propósito de separar las partículas que han sido excesivamente triturado.

La tercera fase comprende un proceso de entrecruzamiento, en el cual el material previamente triturado se introduce en un horno o mufla durante un período de tiempo determinado, manteniéndolo a una temperatura constante con el propósito iniciar el proceso de entrecruzamiento de la estructura de la red del hidrogel [7].

En el proceso de entrecruzado hubo 2 variables que se iban ajustando según los resultados de las pruebas y caracterización de este, la temperatura y el tiempo bajo temperatura. Las temperaturas con las que se hizo el entrecruzamiento fue de 140°C, la cual se decidió cambiar a 120°C en etapas posteriores del proyecto de investigación.

Una vez teniendo el hidrogel con sus respectivos pasos previos de síntesis se llevan a cabo las pruebas de absorción, de tritación y la caracterización de dichas muestras para apreciar sus propiedades y estructura.

Pruebas de titulación

Las pruebas de titulación nos otorgan el dato de cuánto ácido cítrico residual hay en la solución posterior a las horas bajo temperatura del prepolímero. Para llevar a cabo dichas pruebas se añade 0.1 g de prepolímero con 10 mL de agua destilada y 5 gotas de una solución de fenoftaleína al 1.0%. El montaje para llevar a cabo esta prueba se aprecia en la *Imagen 3*, donde en una bureta se añade una solución de NaOH 0.2 M. En una plancha de magnética se coloca el vaso de precipitado, con su respectiva pastilla agitadora, que contiene la solución del prepolímero y se abre la válvula de la bureta para que comience a gotear la solución de NaOH. La fenoftaleína cumple como indicador de viraje, el cual cuando se llega a un punto neutro cambia a un color rosa intenso, como se muestra en la *Imagen 4*. Los mL de NaOH necesarios para llegar al punto de equivalencia se anotaron en la *Tabla 1*.

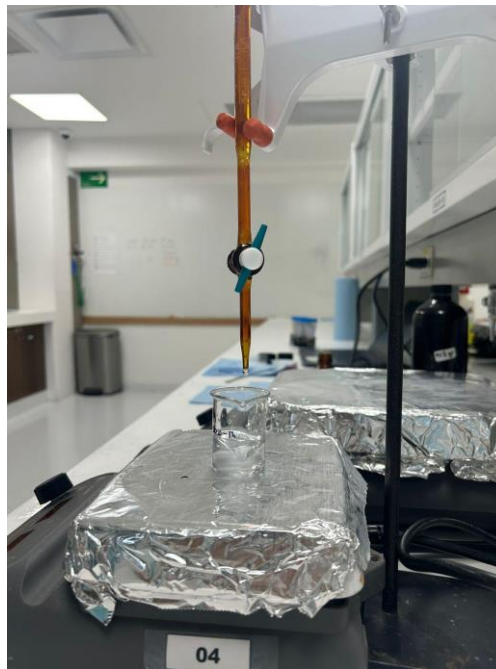


Imagen 3 - Montaje pruebas de titulación



Imagen 4 - Muestras en punto de equivalencia posterior a prueba de titación

Muestra	Cantidad de NaOH 0.2 M [mL]
Control 1:1	5.3
1:1 6h	2.9
1:1 7h	3.0
1:1 8h	3.45
Control 4:1	8.2
4:1 6h	6.25
4:1 7h	6.35
4:1 8h	6.2

Tabla 1 - Resultados de pruebas de titación en prepolímeros

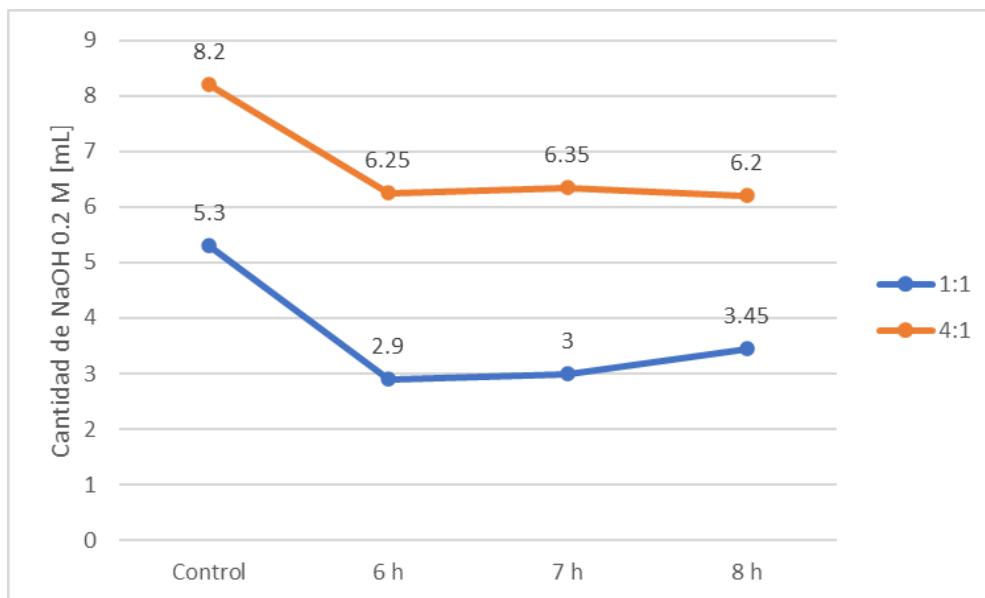


Gráfico 1 - Resultados de pruebas de tritación en prepolímeros

Pruebas de absorción libre con agua destilada y agua salina

Para caracterizar los hidrogeles sintetizados se realizaron pruebas de absorción con bolsa de té, esta prueba consta de sumergir en agua durante un tiempo determinado con el objetivo de medir la variación en su peso debido a la absorción del líquido.

En este proceso se pesa una bolsa de té seca y 0.1g de muestra de hidrogel, para después introducirla a la bolsa de y sumergir en un vaso de precipitado con 150ml de agua destilada o salina al 0.9%, se tomaba el peso del hidrogel en los siguientes intervalos de tiempo: 15, 30, 45, 60, 90, 180, 300, 600, 1800 y 3600 segundos. Cada vez que se extraía la bolsa de té del agua se le retiraba el exceso con una toalla desechable siguiendo el proceso del protocolo constante. Los pesos registrados se anotaron en la *Tabla 2*.

Muestra	Absorción libre agua destilada [g/g]	Absorción libre agua salina 0.9% [g/g]	Sensibilidad iónica
HG1 1:1 1h	82,033	29,367	0,642
HG2 1:1 2h	55,462	19,727	0,644
HG3 1:1 3h	45,000	17,494	0,812
HG4 1:1 4h	38,382	21,962	0,428
HG5 1:1 5h	42,056	36,220	0,139
H4-3 4:1 3h	60,000	17,013	0,716
H4-4 4:1 4h	40,570	14,738	0,637
H4-6 4:1 5h	37,996	15,278	0,598
H4-6 4:1 6h	67,467	23,413	0,653
HG5 1:1 5h PP 0.5%	34,076	13,517	0,603
HG5 1:1 5h PP 1.0%	28,426	14,25	0,499
H4-6 4:1 6h PP 0.5%	32,128	19,201	0,402
H4-6 4:1 6h PP 1.0%	19,23	11,389	0,408
H1-140 1:1 6h	34.811	12.574	0.639
H1-140 1:1 7h	68.430	14.824	0.783
H1-140 1:1 8h	21.017	11.960	0.431
H1-140 4:1 6h	25.939	11.408	0.560
H1-140 4:1 7h	24.845	10.800	0.565
H1-140 4:1 8h	24.663	10.045	0.593
H2-120 1:1 6h	81.087	27.604	0.660
H2-120 1:1 7h	46.858	26.038	0.444
H2-120 1:1 8h	46.538	22.814	0.510
H2-120 4:1 6h	45.063	18.187	0.596
H2-120 4:1 7h	55.984	18.586	0.668
H2-120 4:1 8h	44.201	17.195	0.611
H-CMC	86.642	19.103	0.780

H-Sigma CMC	60.290	48.847	0.190
PA Hone	-	35.000	-

Tabla 2 - Resultados pruebas de absorción libre en agua destilada y agua salina 0.9%

Un dato importante que se obtiene a partir de comparar el peso final de la prueba en agua salina y destilada es la sensibilidad iónica, este valor relaciona el peso final del hidrogel con agua destilada y agua salina para saber cómo le afecta a la absorción de iones.

Pruebas de absorción bajo presión mecánica

La prueba de absorción bajo presión mecánica consiste en que dentro de una caja petri se coloca un pedazo de toalla absorbente y sobre ella la mitad de una bolsa de té, se coloca el anillo negro cuidando que la toalla y la bolsa cubran por completo el círculo. Se pesan 0.1 g de hidrogel para colocarlos dentro del anillo y se colocó la prensa y sobre ella el peso de 915 g, que este simula una fuerza de 0.7 psi. Ya con el montaje bien centrado se coloca agua salina 0.9% hasta que llegue a la mitad de la caja petri como se muestra en la *Imagen 5*, donde se deja por 1800 segundos. Una vez cumplido el tiempo, se retira el exceso de agua con una pipeta y se retira con cuidado el peso. Sobre una toalla absorbente se coloca la bolsa de té y se extrae el hidrogel y se lleva a pesar para notar cuántas veces creció su peso. En la *Tabla 3* se muestran los resultados de las pruebas mecánicas.

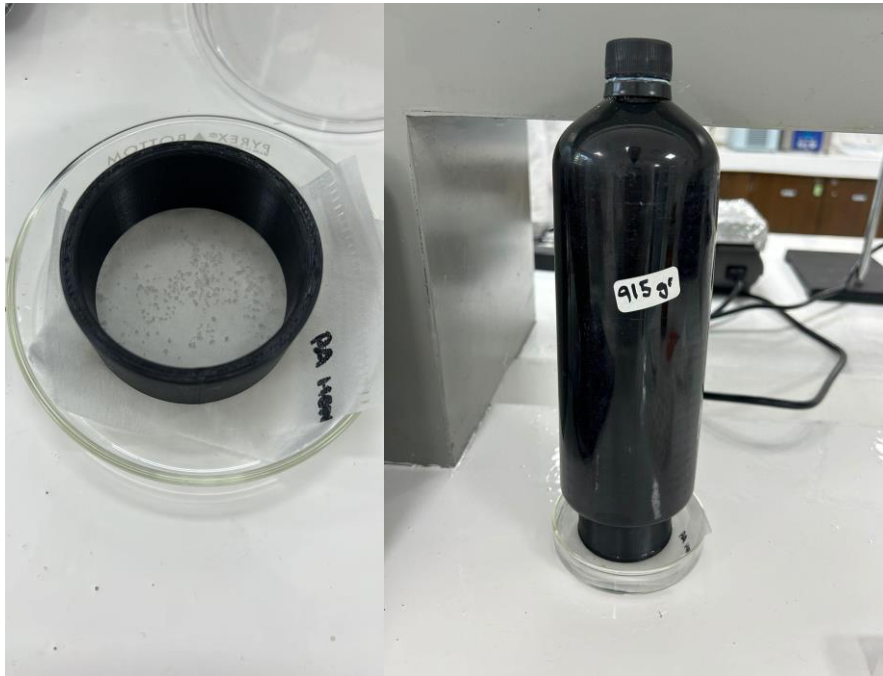


Imagen 5 - Montaje pruebas de absorción bajo presión mecánica

Muestra	FSC Prueba abs bajo presión [g/g]
PA Hone	23.29
H2-120 6h 1:1	13.27
H2-120 6h 4:1	14.51
H2-120 7h 1:1	10.26
H2-120 7h 4:1	13.83
MA EC 1h	17.29
MB EC 1h	17.23
MA EC 2h	14.00
MB EC 2h	13.06
MA EC 3h	12.05
MB EC 3h	12.05
H-CMC	15.53
H-Sigma CMC	24.53

Tabla 3 - Resultados pruebas de absorción bajo presión mecánica

Pruebas de Capacidad de Retención Centrífuga (CRC)

Esta prueba es realizada para encontrar la capacidad de una muestra de SAP para retener líquidos después de saturarse y someterse a centrifugación en condiciones controladas. La capacidad resultante de retención se expresa en gramos de líquidos retenidos por gramo de peso de la muestra (g/g). Las muestras de hidrogel fueron evaluadas en bolsas de té, las cuales se colocaron en una centrifugadora donde se centrifugaron con una fuerza de 250 G (1400 rpm) durante 3 minutos, luego se

retiraron y pesaron. La cantidad de solución retenida por la muestra de SAP, teniendo en cuenta la solución retenida por la propia bolsita de té, representó la Capacidad de Retención Centrifuga (CRC) de la muestra [11].



Imagen 6 - Montaje pruebas de absorción de CRC

Resultados de las pruebas de capacidad de retención centrifuga:

Muestra	Capacidad de Retención Centrífuga [g/g]
PA Hone	22.71
H2-120 6h 1:1	14.49
H2-120 6h 4:1	10.82
H2-120 7h 1:1	12.00
H2-120 7h 4:1	13.19
H2-120 8h 4:1	12.97
MA EC 1h	18.22
MB EC 1h	14.94
MA EC 2h	19.12
MB EC 2h	8.33
MA EC 3h	11.51
MB EC 3h	12.92
H-CMC	16.48
H-Sigma CMC	39.60

Tabla 4. Resultados de capacidad de retención centrífuga

Caracterización por medio de microscopio electrónico de barrido (SEM)

La microscopía electrónica de barrido (SEM) es una técnica de imagen que utiliza haces de electrones para visualizar muestras a nivel microscópico. Emplea un haz de electrones que barre la superficie de la muestra, generando señales secundarias para crear imágenes tridimensionales detalladas de la topografía y composición de la muestra. Esta técnica permite una observación de alta resolución de la estructura

de materiales a una escala microscópica y se utiliza ampliamente en diversas disciplinas científicas para analizar la morfología de muestras.

En este estudio se realizaron para micrografías de material sintetizado a mayor detalle, para poder llevar a cabo este proceso las muestras se sometieron a un proceso de ultracongelación a -35°C durante 24 horas y de liofilización a una temperatura de -45°C por 24 horas para finalmente ingresar las muestras a SEM.

Caracterización por medio de análisis termogravimétrico (TGA)

El análisis TGA (Análisis Termogravimétrico) es una técnica que mide los cambios en la masa de una muestra con respecto a la temperatura. En el contexto de una reacción de esterificación, la TGA se emplea para analizar la pérdida de peso de la muestra, que está relacionada con la liberación de agua como subproducto de la reacción. Se utiliza un perfil de temperatura constante a 140°C después de un calentamiento inicial a la misma temperatura para estudiar cómo la muestra se comporta a esa temperatura específica y observar la liberación continua de agua en condiciones isotérmicas. Este enfoque proporciona información detallada sobre la cinética de la reacción y las propiedades termoquímicas del material [12].

La temperatura constante a 140°C permite un análisis más detallado de la liberación de agua, que se produce debido a la reacción de esterificación llevada a cabo a temperaturas superiores a 90°C . La TGA con este perfil de temperatura contribuye a comprender la estabilidad térmica del material y su comportamiento bajo condiciones específicas, proporcionando valiosa información sobre la cinética de la reacción y la liberación de subproductos como el agua durante el calentamiento.

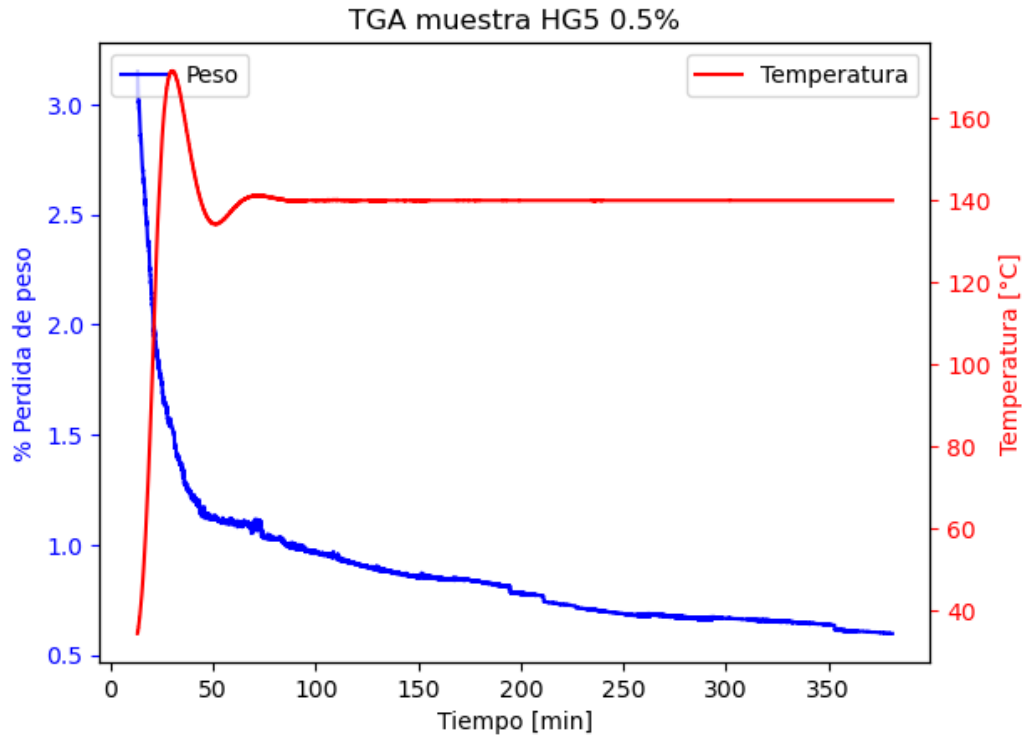


Gráfico 2- TGA muestra HG5 0.5%

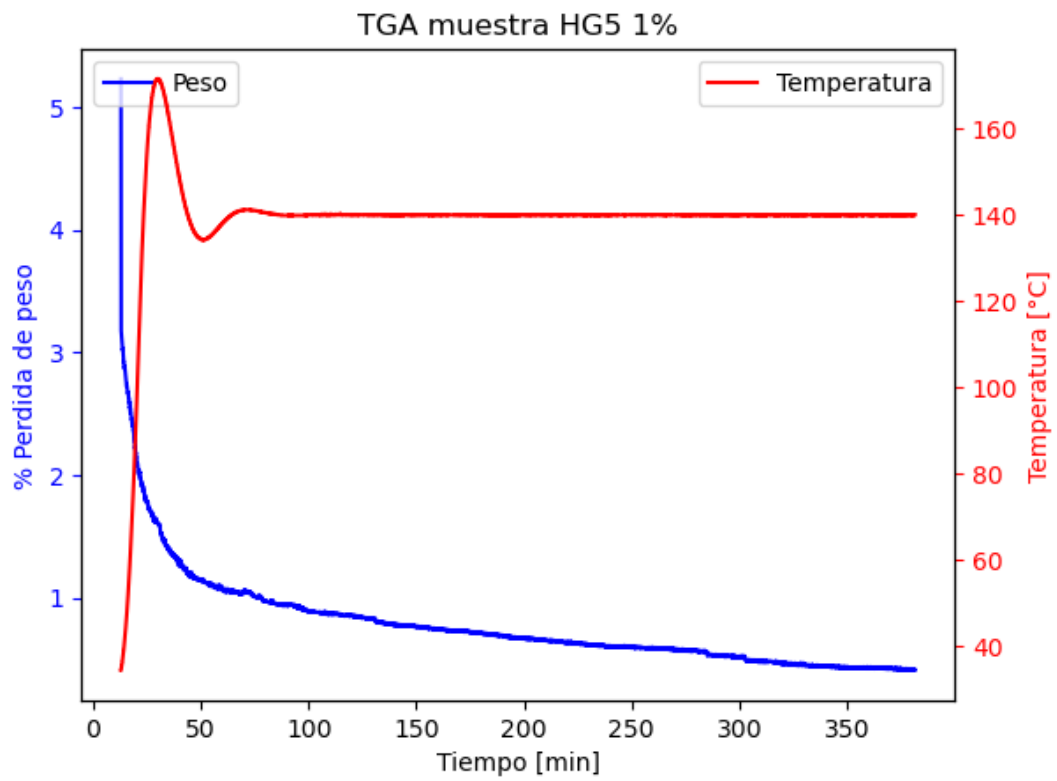


Gráfico 3- TGA muestra HG5 1%

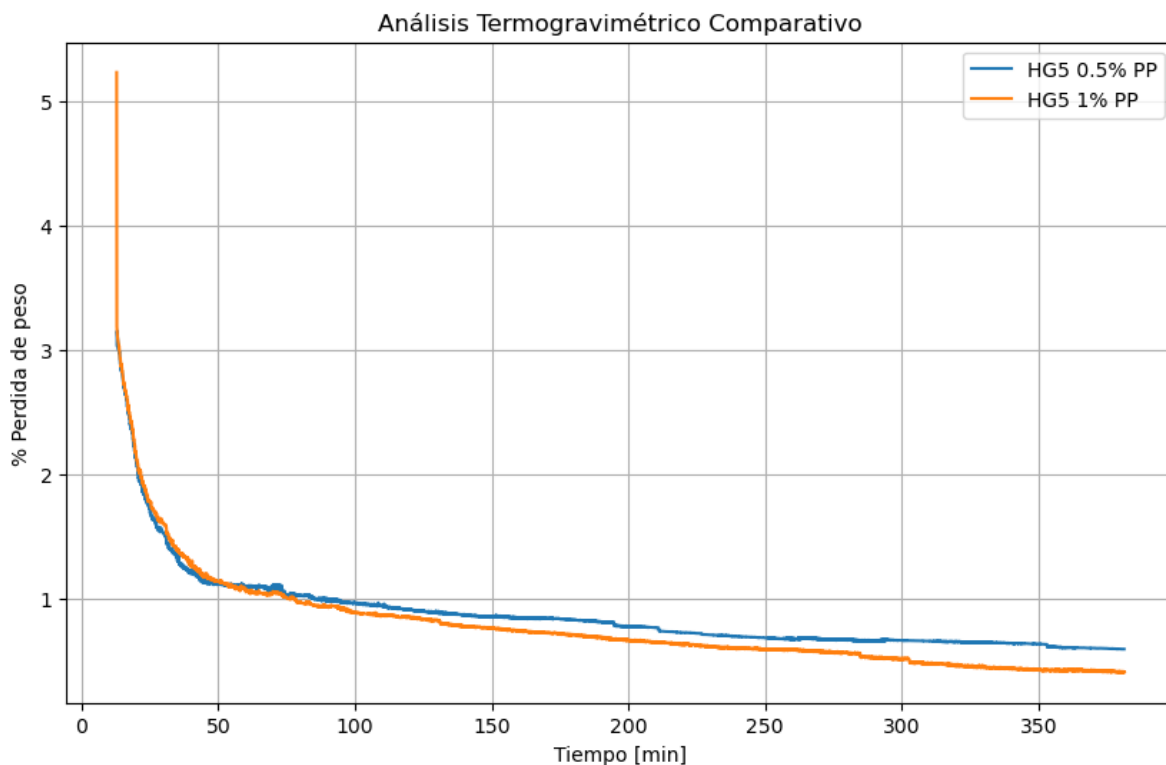


Gráfico 4 - Análisis comparativo TGA

3. Resultados del trabajo profesional

La primera etapa del hidrogel fue encontrar los mejores prepolímeros (PP), para esto se buscó encontrar la proporción de ácido cítrico (AC) : sorbitol ideal, además del tiempo bajo temperatura y encontrar la temperatura ideal. Basado en las distintas síntesis realizadas variando la temperatura y las proporciones del prepolímero, las respectivas pruebas de tritación a las muestras se encontró que el lote con proporción 1:1 y 4:1 a 120°C en mufla fueron las que arrojaron mejores resultados, basados en los valores obtenidos de la *Tabla 1*. Los PP sintetizados a estas condiciones presentan un promedio de la cantidad de NaOH necesaria para llegar al punto de equivalencia mejor a cualquier otra proporción por lo que se decidió proseguir con el proyecto a partir de estas proporciones.

Con las condiciones del prepolímero ya establecidas, los parámetros para la síntesis del hidrogel es lo siguiente que se busca eficientar. Se inició con una mezcla de agua destilada y un 3% de carboximetilcelulosa (CMC) y se le añadió un 0.5% del peso total del hidrogel de una solución al 1.0% del prepolímero. Al tener una mezcla homogénea se mandó al horno a 60°C por 24 horas para eliminar la humedad y el exceso de agua. Ya que se tiene la lámina del hidrogel seco se somete a un proceso de trituración y tamizado, con sus respectivo tiempo y temperatura de entrecruzado descrito en el apartado de Desarrollo.

En el *Gráfico 1* se aprecia que los datos que arrojan las pruebas de tritación mantienen un comportamiento casi lineal al momento de aumentar las horas bajo temperatura; todos los datos son menores a las muestras de control por lo que consideran de buena fiabilidad.

Las primeras síntesis se realizaron variando la temperatura de entrecruzamiento entre 120°C y 140°C, de primer momento al realizar las pruebas de absorción y la caracterización en SEM se aprecia que a la temperatura de 140°C el hidrogel no es tan favorable, ya que la consistencia del hidrogel es muy rígida por fuera, pero al aplicar cierta presión este se rompía y por lo tanto se desgela. En la *Imagen 7* se aprecia que en los bordes de la partícula presenta una estructura parecida a láminas bastante homogéneas y compactas la cual está rodeada de fibras, las cuales son cadenas de carbono que no se entrecruzan de manera correcta debido a la alta temperatura.

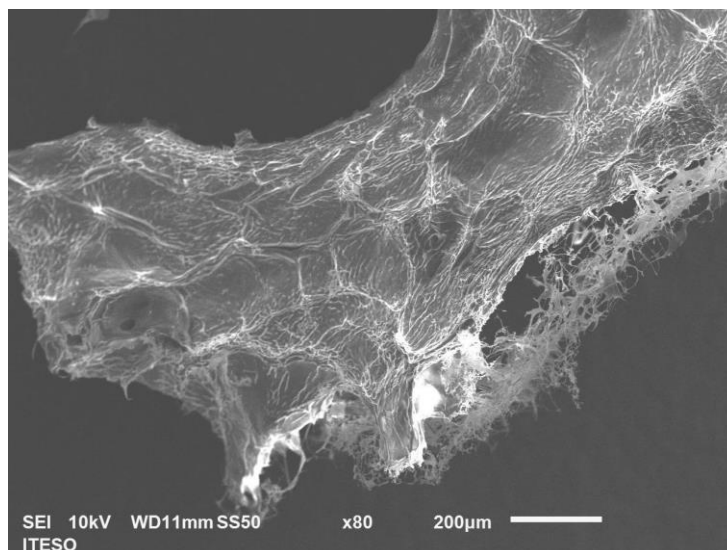


Imagen 7. Microscopía SEM muestra hidrogel 8-3

Para tener una buena referencia de cómo es una morfología correcta del hidrogel a su vez se realizó la microscopía SEM para poliacrilatos comerciales para poder realizar una comparación visual de ambos SAPs. La *Imagen 8* es una micrografía de un hidrogel sintetizado a 140°C por 6 horas con proporción 1:1 y la *Imagen 9* es un poliacrilato comercial que es utilizado en pañales desechables (PA Hone).

Comparando la *Imagen 8* y la *Imagen 9* se puede confirmar de manera visual el problema del mal entrecruzado del hidrogel. La *Imagen 8* presenta notoriamente ciertos hilos al final de cada grano, en comparación a la *Imagen 9* que presenta una estructura más uniforme, que es a lo que se desea llegar.

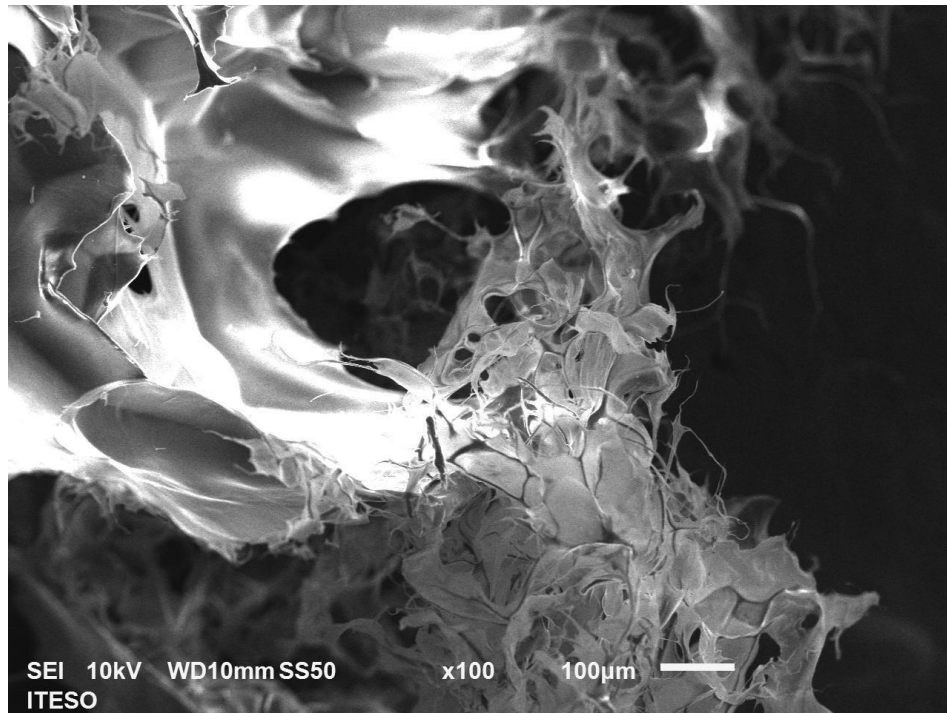


Imagen 8. Micrografía SEM hidrogel H1-140 1:1 6 horas

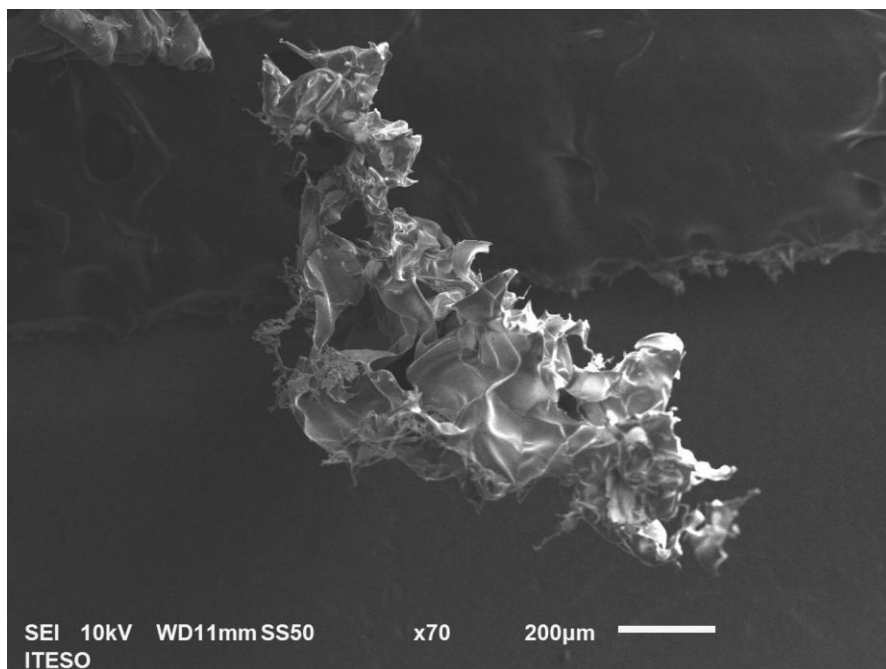


Imagen 9. Micrografía SEM poliacrilato comercial PA Hone

Para tener más información de cuál es la temperatura y el tiempo ideal de entrecruzado se decidió realizar un análisis termogravimétrico (TGA) para encontrar el tiempo en el que el hidrogel terminaba su proceso de entrecruzado. Se introdujo al equipo una muestra con 5 horas de prepolimerizado con 0.5% del prepolímero y una muestra de este prepolímero, pero con 1.0% a un TGA por 6 horas a 140°C constantes para notar en qué punto del tiempo terminaba el proceso de entrecruzado.

Basado en las gráficas que se obtuvieron del TGA se aprecia que lo primero que se empieza a eliminar la humedad que quedó en el hidrogel y después es cuando viene el proceso de entrecruzado.

Este comportamiento se observa en el análisis del *Gráfico 5*, del inicio del análisis en el minuto 0 hasta aproximadamente el minuto 50 se termina el proceso donde se evapora la humedad que continúa la muestra, a partir de este momento la curva toma una pendiente negativa con un comportamiento menos abrupto que en la primera fase del análisis TGA, esta parte se relaciona con la reacción de esterificación que se está llevando dentro del hidrogel, esta reacción a temperaturas superiores de 90°C toma lugar y genera un subproducto donde en este caso es H₂O, el cual con la temperatura al que está sometido el sistema se evapora provocando la pérdida de peso que observamos en la curva, en el *Gráfico 6* se observa la comparación de las dos muestras que fueron sometidas a este análisis, el cambio entre las dos es la concentración de prepolímero que se encuentra en la muestra. En el caso de la curva de la muestra con una mayor concentración, encontramos una mayor pérdida de peso, lo cual comprueba que se está llevando a cabo la reacción de esterificación de mayor forma que la muestra que solo contiene un 0.5% de prepolímero.

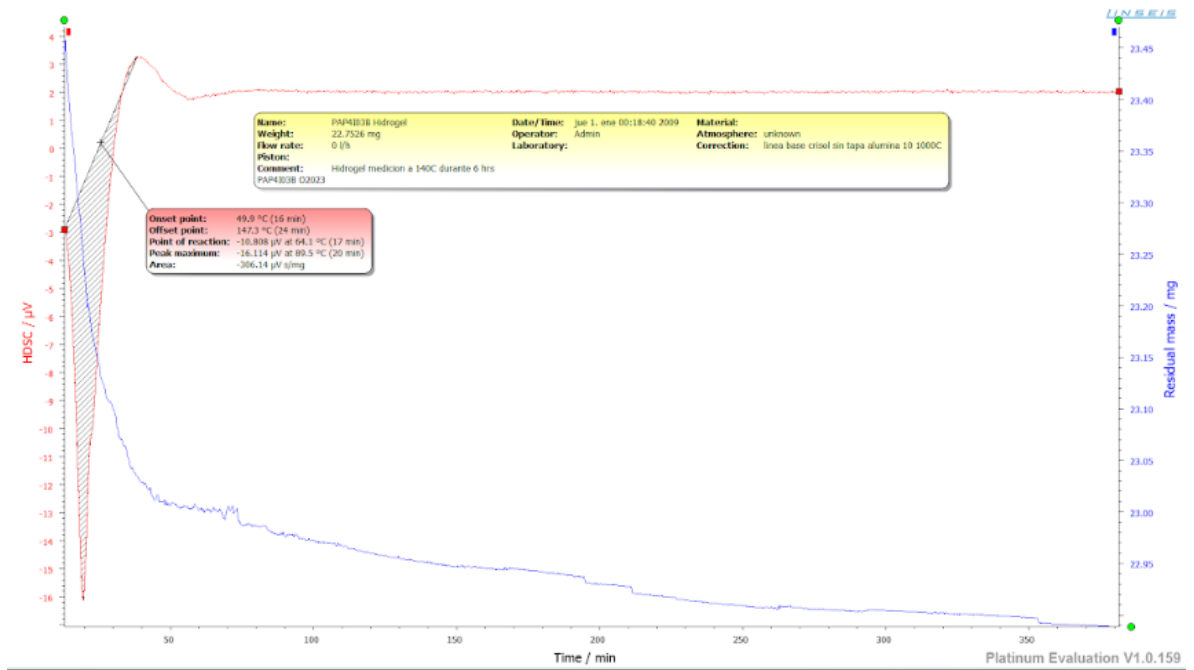


Gráfico 5 - Análisis TGA muestra HG5

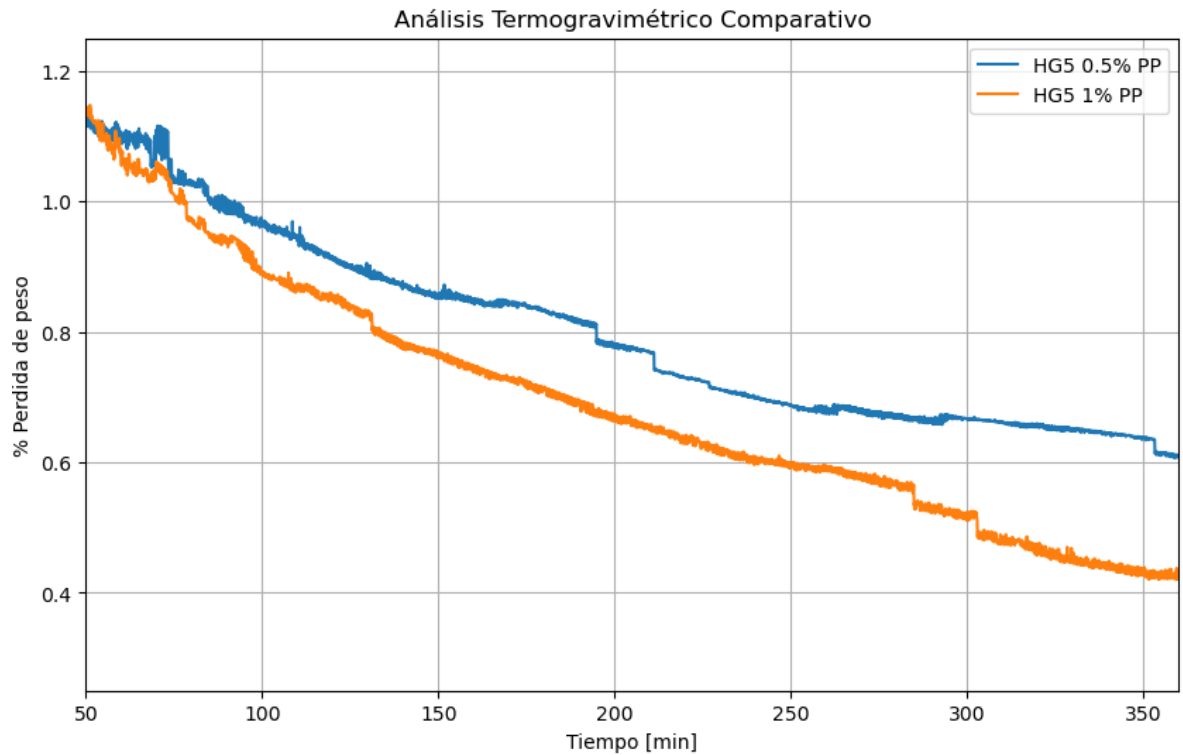


Gráfico 6 - Análisis comparativo TGA muestra HG5 con 0.5% y 1% de prepolímero

Debido a que la duración de la prueba TGA se estableció a 6 horas y viendo las gráficas se aprecia que en ese tiempo sigue el proceso de entrecruzado, por lo que un TGA con un tiempo extendido de análisis nos brindaría información de cuando concluye este proceso de esterificación. Al analizar los datos y prosiguiendo con las distintas pruebas se concluyó que no es necesario llegar al punto máximo de entrecruzamiento ya que los cambios en la absorción no cambian de manera significativa.

Para contrarrestar el efecto del mal entrecruzamiento de las muestras se decidió reducir la temperatura de entrecruzado a 120°C, además de extender el rango de tiempo desde 1 hora hasta 3 horas para compensar la disminución de temperatura y notar la diferencia que hace el tiempo bajo temperatura. Esto para buscar eliminar la costra de los granos del hidrogel y que se obtenga un entrecruzado más homogéneo y se tenga un hidrogel más estable a la presión.

Ya que se tenía el hidrogel sintetizado con todos sus procesos de prepolimerización, molienda y entrecruzado se prosigue a la etapa de las pruebas de absorción libre, bajo presión mecánica y en centrífuga en agua destilada y salina 0.9%.

Para estas pruebas se siguieron los protocolos descritos en el apartado de *Desarrollo*. Los resultados registrados en la *Tabla 2, 3 y 4* hacen referencia a todas las pruebas que se realizaron. Se comenzaron con las pruebas de absorción libre en agua destilada y salina 0.9%, los hidrogeles que presentaban buena sensibilidad iónica y absorción en agua salina son los que se sometieron a las pruebas mecánicas y en centrífuga para tener los datos completos. Además, se les hicieron pruebas de análisis de textura y rigidez de manera cualitativa, donde a partir de estas y de los datos de absorción se eligieron las mejores muestras.

Basado en las pruebas de absorción libre se obtuvo que los hidrogeles sintetizados con proporciones 1:1 y 4:1 de prepolímero y de 6 y 7 horas de entrecruzado a 120°C

son las que cuentan con mejores valores de absorción y retención. Estos hidrogeles seleccionados se compararon con el poliacrilato comercial PA Hone.

En esta etapa del proyecto al tener ya sólo 4 muestras (H2-120 6h 1:1, H2-120 7h 1:1, H2-120 6h 4:1 y H2-120 7h 4:1) que fueron las que presentan propiedades parecidas a las comparadas con los poliacrilatos comerciales se decidió sintetizar nuevas muestras nombradas MA y MB, H-CMC y H-Sigma CMC. La muestra MA consisten en hidrogel de CMC al 3% sintetizado con 0.5% de prepolímero 1:1 de 6h y la muestra MB es de hidrogel de CMC al 3% sintetizado con 0.5% de una relación 1:1 de ácido cítrico y sorbitol sin procesamiento térmico. Dentro el final de este desarrollo se decidió ingresar una nueva variable utilizando una sal sódica carboximetilcelulosa, la intención de este experimento fue observar el comportamiento de este reactivo en la capacidad de absorber y retener agua, se realizaron dos muestras la H-Sigma CMC con la sal sódica carboximetilcelulosa y un control para comparar la muestra sintetizada con la carboximetilcelulosa que se había estado usando en todo el desarrollo.

Con estas últimas síntesis de hidrogeles se tienen varias opciones en cuestión de parámetros a variar que dependiendo de la aplicación que se le desea dar puede usar una opción u otra. Para realizar un análisis más detallado, se seleccionaron las muestras de mejor rendimiento, detalladas en la *Tabla 5*, que exhibieron un comportamiento competitivo en términos de absorción libre de agua salina, absorción bajo presión y capacidad de retención centrífuga en comparación con un poliacrilato comercial (PA Hone).

Muestra	Absorción libre agua destilada [g/g]	Absorción libre agua salina 0.9% [g/g]	Sensibilidad iónica	FSC Prueba abs bajo presión [g/g]	Capacidad de Retención Centrífuga [g/g]
PA Hone	200	35	0.825	23.294	22.709

H2-120 6h 1:1	81.087	27.604	0.660	13.274	14.494
H2-120 6h 4:1	45.063	18.187	0.596	10.257	10.823
H2-120 7h 1:1	46.858	26.038	0.444	14.521	12.001
H2-120 7h 4:1	55.984	18.586	0.668	13.825	13.192
H-CMC	82.640	19.100	0.780	15.526	16.478
H-Sigma CMC	60.290	48.850	0.190	24.528	39.597

Tabla 5 - Resultados principales

Las muestras H2-120 en diversas variantes y la H-CMC, ambas sintetizadas con la misma CMC, muestran comportamientos muy similares entre sí. Sin embargo, destacan las muestras H2-120 6h 1:1, H2-120 7h 1:1 y H-CMC, con una máxima capacidad de absorción libre de agua salina de 27.604 g/g, una sensibilidad iónica mínima de 0.440, absorción bajo presión máxima de 15.526 g/g y una CRC de 16.478 g/g.

Al avanzar en el desarrollo, se introdujo una nueva variable al cambiar la celulosa en muestras como H-Sigma CMC. Estos cambios arrojaron resultados prometedores que superan los valores de algunos poliacrilatos comerciales, como en el caso de PA Hone. La muestra H-Sigma CMC exhibió una capacidad de absorción libre en agua salina de 48.85 g/g, sensibilidad iónica de 0.190, absorción bajo presión de 24.528 g/g, y una CRC impresionante de hasta 39.597 g/g.

Esto último nos arroja un excelente resultado, comparándolo con materiales comerciales como el PA Hone, este material tiene una capacidad de absorción libre en agua salina de 35 g/g, sensibilidad iónica de 0.825, absorción bajo presión de 23.294 g/g y una CRC de 22.709 g/g.

4. Reflexiones del alumno o alumnos sobre sus aprendizajes, las implicaciones éticas y los aportes sociales del proyecto

- **Aprendizajes profesionales**

André: Participar en un proyecto de investigación y desarrollo centrado en la creación de nuevos materiales, donde ha sido posible aplicar mucho del conocimiento aprendido durante la carrera ha sido una experiencia enriquecedora que ha fortalecido varias competencias fundamentales para mi desarrollo académico y profesional.

Este proyecto ha realzado mi competencia en investigación, dándome la oportunidad de aplicar los conocimientos teóricos adquiridos en clase en un contexto práctico. He desarrollado habilidades en el diseño de experimentos, analizar datos y evaluar los resultados obtenidos, para guiar la investigación hacia los objetivos que nos planteamos.

Otra competencia que se ha fortalecido en mi es la capacidad de resolución de problemas, existen momentos donde surgieron desafíos inesperados que requieren un análisis crítico y creatividad para encontrar soluciones, esto me ha enseñado a ser adaptable a la situación y a buscar abordar los problemas desde múltiples perspectivas.

Por último, una de las habilidades que mejoró ha sido el trabajo en equipo, el colaborar con otros estudiantes, profesores y expertos, en la planificación y ejecución del proyecto, me ha enseñado la importancia de una buena comunicación, coordinación y distribución de trabajo para lograr nuestros objetivos de una manera eficiente.

Guillermo: Participar en este proyecto me ha ayudado a tener mucho más conocimiento aplicado en el laboratorio y poder observar los resultados de mi trabajo, en las clases durante la carrera casi no sucede esto ya que llevas una metodología estricta, en cambio en el PAP tienes la libertad de ir proponiendo cambios o nuevos métodos de hacer las cosas. Después del PAP, me siento mucho más capaz y cómodo dentro de un laboratorio, debido a todas las horas de trabajo dentro del mismo y a la variedad de pruebas y síntesis con los diferentes equipos.

Al ser un proyecto conformado por varias personas, fue necesario tener mucha comunicación y organización para poder llevar a cabo las tareas en el tiempo correcto. Hubo ciertos problemas con estos aspectos lo cual hacía que tuviéramos días perdidos. El organizar los tiempos de los integrantes del proyecto en ocasiones llegaba a complicar los tiempos dentro del laboratorio, pero la comunicación ayudó a saber quiénes estarían presentes y saber qué actividad se realizó y poder proseguir con el proyecto.

La competencia de realizar investigación de artículos científicos e información en diversas fuentes siento que fue un aspecto que reforcé bastante durante este proyecto, ya que debido a las distintas etapas que se realizaron había que buscar información que nos ayudará a entender e interpretar qué es lo que se realizó y el por qué. Espero que todos estos aprendizajes adquiridos y reforzados los pueda aplicar en mi vida profesional. Me gustó mucho la idea general del proyecto, la cual busca sustituir un material que se usa en la industria, pero tiene sus contras en el ambiente por un material biodegradable que cumpla con esas mismas características.

Mariana: Empezar este proyecto en mi último semestre de ingeniería en nanotecnología fue interesante, ya que al haber cursado con anterioridad dos

proyectos de aplicación profesional, pensé que se iba a seguir una metodología similar y que iba a tener muchas cosas que aprender, pero al irse adentrando en la individualidad de los proyectos, me di cuenta que mi gestión de tiempo procedería a ser diferente, y que este tipo de organización me ayudaría a potenciar este sentido junto con el trabajo en equipo, que ha mi parecer van de la mano, debido a que no solo era preocuparme por mi gestión de tiempo, sino de cómo se iba a manejar el equipo y nuestro entorno.

Aparte de considerar mi flexibilidad de horarios en torno a la capacidad de toma de decisiones, ya que al estar realizando un becariado junto con el horario del proyecto, tuve que realizar decisiones críticas y de estructuración para poder llevar a cabo mi mayor potencial en torno a las actividades que se tenían planeadas a lo largo del semestre. Además de poder tener oportunidad de practicar mi capacidad de comunicación, aunque hubiera algunos problemas a mediados de semestre en torno a este factor, considero que se pudo solucionar a tiempo, y finalizar este periodo sin mayor contratiempo.

- **Aprendizajes sociales**

André: Participar en este proyecto ha sido un gran reto donde me ha llevado a salir de mi zona de confort, donde me fue necesario adaptarse para lograr cumplir con los objetivos y retos, este PAP me ha ayudado a pulir diversas áreas de mi persona ya a un nivel más serio y profesional.

Con esta experiencia me siento más capaz de poder desarrollar un proyecto desde cero, darle seguimiento y adaptándolo a los cambios que pudieran surgir, aprendí mucho sobre cómo llevar a que un proyecto pueda tener orden y que pueda avanzar, además de lo importante que es la comunicación y el tener un buen equipo que pueda respaldar el trabajo.

Guillermo: La idea general del proyecto de investigación se me hace que tiene un propósito muy favorable para el medio ambiente, ya que como se estuvo hablando durante el desarrollo existen muchos factores que llegan a afectar de manera irreversible el ecosistema. La iniciativa de desarrollar alternativas sustentables que a su vez sean competitivas comercialmente hace que este proyecto tenga muchas oportunidades y necesite de ideas nuevas y creativas de los colaboradores para llevarse a cabo.

Si se llega a escalar lo que se desarrolló puede tener beneficios enormes en muchos aspectos. El lado económico de las empresas, la mejora en la calidad de vida de las personas, nuevas alternativas en tecnología, entre otros. El aspecto más importante que se beneficia con la búsqueda de un hidrogel superabsorbente biobasado es el ámbito ambiental ya que a la larga estos pequeños cambios en los desechos hará que mejore la calidad de suelo y del agua,

Mariana: Al comenzar este proyecto, experimenté la participación en una actividad significativa desde sus fases iniciales, comprendiendo la importancia de establecer prioridades en los procedimientos esenciales. Reconocí la necesidad de cimentar bases sólidas y proporcionar directrices fundamentales para el desarrollo exitoso de la iniciativa.

- **Aprendizajes éticos**

André: El haber cursado un PAP de investigación donde se inició a construirlo de poco en poco me lleva a querer ejercer mi profesión en un ambiente similar, con el objetivo de crear algo que pueda generar un bien a la sociedad, además de descubrir el alcance que tenemos como nanotecnólogos y cómo podemos generar un impacto.

Además de esto todo este tiempo que se invirtió al proyecto en lo personal va más allá de una investigación y de que pudimos obtener buenos resultados, va a creer en lo que podemos ser capaces y descubrir qué roles podemos cubrir, el cómo al trabajar de una forma constante y correcta nos puede llevar lejos, para que con este trabajo podamos tener una mejor idea a qué queremos hacer en la vida y encontrar nuestro propósito en este mundo.

Guillermo: De manera personal considero que llevar a cabo este proyecto de investigación me da muchas bases sólidas para mi vida profesional, lo considero como experiencia laboral ya que desempeñé actividades que muy probablemente vaya a necesitar en un futuro y haberlas practicado asesorado por mis profesores es de gran ayuda y sirve como una guía. Personalmente no consideraba el aspecto de investigación como parte de mi vida, pero después de este PAP me doy cuenta que puedo considerarlo como opción. La parte experimental y notar los cambios en las muestras al modificar ciertos factores en la formulación es un aspecto que me agradó mucho.

Asuvez el trabajo en equipo que conlleva este proyecto hace que me de cuenta que es indispensable la participación de todos los integrantes para poder cumplir con los objetivos a corto y largo plazo. Relaciono esto con lo que me voy a enfrentar a la hora de desempeñar tareas en mi vida laboral.

Mariana: Este proyecto me sirvió para adoptar decisiones fundamentales al poner énfasis en la eficiencia de los procedimientos y la claridad en los objetivos. A lo cual opté por estrategias meticulosamente planificadas para establecer cimientos robustos, resultando en una ejecución más fluida y un impacto positivo en la calidad del proyecto.

Esta experiencia me conduce a una comprensión más profunda de la importancia de la planificación estratégica y la toma de decisiones informada. Este conocimiento impulsa mi deseo de mejora continua, motivándome a abordar nuevos desafíos y contribuir significativamente en proyectos futuros. Por lo tanto, mi compromiso con la excelencia se mostrará por un servicio mejorado y se ofrecerá soluciones más efectivas y adaptadas a sus necesidades.

- **Aprendizajes en lo personal**

André: Este PAP me ayudó a reconocer lo importante que es el trabajo en equipo, esto puede dictar el éxito o el fracaso de un proyecto y lo crucial que es el participar todos en conjunto y tener una buena comunicación. Partiendo de mi aprendí que debo de mejorar en esto, pero además también pude conocer una parte de mi persona que siempre he sentido que es muy fuerte, la cual es poder tomar la iniciativa, buscar la forma de que funcionen las cosas y hacer que pasen. El poder llevar a práctica esto de una manera profesional me hizo ver que es una muy buena característica para dirigir un proyecto.

Guillermo: Me ayudó a darme cuenta de que en lo personal hay aspectos a considerar que llegan a afectar el desempeño del trabajo; la organización, disponibilidad de tiempos y la comunicación con compañeros son aspectos que tuve que considerar y mejorar para llevar a cabo el proyecto. Al mismo tiempo me doy cuenta de que en mi vida profesional no quisiera que mi trabajo consta de estar tantas horas en el laboratorio, prefiero un aspecto más industrial pero que esté relacionado a la nanotecnología.

Mariana: Poder participar en este proyecto me trajo muchos desafíos personales, laborales y educacionales, desde la organización de mi tiempo personal y acomodo de actividades extracurriculares, hasta poder tener conciencia de la responsabilidad.

5. Conclusiones

En conclusión, este proyecto se enfocó en el desarrollo de un hidrogel superabsorbente biodegradable destinado a aplicaciones en productos de higiene personal. A través de una selección y combinación de materiales, así como procesos de síntesis, se buscó lograr propiedades excepcionales de absorción. Se establecieron objetivos específicos, incluida la determinación de condiciones óptimas de prepolimerización, el ajuste de tiempo y temperatura para el entrecruzamiento, la optimización de la capacidad de absorción, la caracterización microestructural y la comparación con superabsorbentes comerciales.

Las pruebas detalladas, como la microscopía electrónica de barrido (SEM) y el análisis termogravimétrico (TGA), respaldaron el proceso de desarrollo y permitieron ajustar variables críticas como la temperatura y el tiempo de entrecruzamiento. Se abordaron desafíos, como el mal entrecruzamiento observado a 140°C, mediante la reducción de la temperatura a 120°C y la extensión del tiempo de entrecruzamiento. Las muestras seleccionadas, como H2-120 6h 1:1, H2-120 7h 1:1 y H-Sigma CMC, demostraron propiedades destacadas que superan a algunos poliacrilatos comerciales.

En la etapa final, se introdujeron nuevas variables, como la incorporación de sales sódicas de carboximetilcelulosa, ampliando las opciones de parámetros ajustables. La muestra H-Sigma CMC, en particular, destacó con una capacidad de absorción y retención excepcionales, exhibiendo una capacidad de absorción libre en agua salina de 48.85 g/g, sensibilidad iónica de 0.190, absorción bajo presión de 24.528 g/g, y una CRC impresionante de hasta 39.597 g/g.

Con este desarrollo se cumplieron los objetivos establecidos y junto con los resultados obtenidos, este proyecto puede continuar en diferentes áreas, como lo es la parte de su escalabilidad, junto con integraciones de nuevos elementos que le puedan proporcionar características únicas, como ejemplo, la integración de nanopartículas de plata en la matriz del hidrogel superabsorbente puede integrarle propiedades antibacterianas, esta característica es atractiva para su implementación en áreas alimenticias. Otra parte donde se puede trabajar es en construir un modelo matemático para obtener las condiciones para obtener un hidrogel superabsorbente con ciertas características especiales, por ejemplo, si buscamos un hidrogel para su aplicación en agricultura donde se necesita un material más firme, utilizar el modelo para conocer los tiempos necesarios de entrecruzamiento y la concentración adecuada de prepolímero.

6. Bibliografía

[1] Bachra, Y., Grouli, A., Damiri, F., Bennamara, A., & Berrada, M. (2020). A new approach for assessing the absorption of disposable baby diapers and superabsorbent polymers: A comparative study. *Results in Materials*, 8, 100156.

[2] Castro-Cabado, M., Casado, A. L., & San Román, J. (2016). Bio-based thermosets: Effect of the structure of polycarboxylic acids on the thermal crosslinking of maltodextrins. *European Polymer Journal*, 78, 91-105.

[3] Pariguana, M., Gonzales, L. (2019). Chemical Recycling of superabsorbent polymer with disposable diapers used. Consultado el 14 de noviembre de 2023 en: <https://aidisnet.org/wp-content/uploads/2019/07/526-Per%C2%A6-oral.pdf>

[4] *Estándar en Gestión Medioambiental ISO 14001*. (s. f.). Recuperado 25 de noviembre de 2023, de <https://www.bsigroup.com/es-MX/gestion-medioambiental-ISO-14001/>

- [5] European Chemicals Agency. Annex XV restriction report proposal for a restriction. (2017) . Consultado el 21 de noviembre de 2023 https://echa.europa.eu/documents/10162/0/restriction_axvrep_tattoo_inks_sps-012420-16_en.pdf/f8c09d52-1f42-9b9c-4a54-90e8c843d205.
- [6] Fernandez, W. (2019). Historia del Poliacrilato de Sodio. Consultado el 21 de noviembre de 2023 en: <https://es.scribd.com/document/427128472/Historia-Del-Poliacrilato-de-Sodio>
- [7] Takunda, P., Somers, M., Robo, M., Collias, D., James, M., Zimmerman, P., Alfaro, J., & McNiel, A. (2021). Giving superabsorbent polymers a second life as pressure-sensitive adhesives. *Nature Communications*, 12, 4524 (2021).
- [8] FreePatentsOnline (2004). Absorbent structure. Consultado el 13 de noviembre de 2023 en: <https://www.freepatentsonline.com/5149335.html>
- [9] Castro-Cabado, M., Casado, A. L., & San Román, J. (2016). Bio-based thermosets: Effect of the structure of polycarboxylic acids on the thermal crosslinking of maltodextrins. *European Polymer Journal*, 78, 91–105.
- [10] Chalchi, J (2021). LunaCup. ¿Cuánto y cómo contaminan las toallas higiénicas?. Consultado el 14 de noviembre de 2023 en: <https://lunacup.online/cuanto-y-como-contaminan-las-toallas-higienicas/>
- [11] Akter, M., Bhattacharjee, M., Dhar, A., Rahman, F., Haque, S., Rashid, T., & Kabir, S.M. (2021). Cellulose-Based Hydrogels for Wastewater Treatment: A Concise Review. *Gels* 2021, 7, 30
- [12] Bachra, Y., Grouli, A., Damiri, F., Bennamara, A., & Berrada, M. (2020). A new approach for assessing the absorption of disposable baby diapers and superabsorbent polymers: A comparative study. *Results in Materials*, 8, 100156.

[10] Sukkaneewat, B., Parrot, T., Rojruthai, P., Wongpreedee, T., & Praprudivongs, C. (2022). Plasticizing effects from citric acid/palm oil combinations for sorbitol-crosslinked starch foams. Elsevier. *Materials Chemistry and Physics* 278 (2022) 125732.

[11] Shen, X., Shamshina, J. L., Bertón, P., Gurău, G., & Rogers, R. D. (2016). Hydrogels based on cellulose and chitin: fabrication, properties, and applications. *Green Chemistry*, 18(1), 53-75.

[12] Kunzler F. "Hydrogels". En: *Encyclopedia of Polym. Sci. and Technol.* 2, John Wiley & Sons, Inc., 2002, p. 691-722.

[13] Educación científica e inclusión sociodigital: actas del IX Congreso Iberoamericano de Educación Científica y del I Seminario de Inclusión Educativa y Sociodigital (CIEDUC 2017) : Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Educación, Mendoza (Argentina), del 14 al 17 de marzo de 2017. (2017).

Anexos