



**Ciencia y
Tecnología**
Secretaría de Ciencia, Humanidades,
Tecnología e Innovación



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA
MECÁNICA**

**SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN
HIDROGEL A BASE DE ALMIDÓN DE
IPOMOEA BATATAS PARA SU USO EN
INGENIERÍA TISULAR**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE MAESTRA EN CIENCIAS EN
INGENIERÍA MECÁNICA**

Presenta:

Ing. Irene Monserrat Irepan Avilés

ASESOR:

Dr. Miguel Villagómez Galindo

CO-ASESORA:

Dra. Ana Beatriz Martínez Valencia

Morelia, Michoacán; Abril, 2025

Agradecimientos

Agradezco a la Secretaria de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el financiamiento que me permitió llevar a cabo mis estudios de maestría.

Reconozco con aprecio a la Facultad de Ingeniería Mecánica especialmente al programa de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica por haberme dado la oportunidad de realizar mi investigación en esta institución.

Quiero extender mi profundo agradecimiento y dedicatoria del presente trabajo a mis padres, quienes me han apoyado de forma incondicional y a quienes respeto y admiro profundamente.

Con profunda estima y reconocimiento, extiendo mi más sincera gratitud a mis directores de tesis, el Dr. Miguel Villagómez Galindo y la Dra. Ana Beatriz Martínez Valencia. Su inestimable guía ha sido pilar fundamental en la dirección de esta investigación.

Gracias a cada docente quienes con su apoyo y enseñanza constituyen la base de mi investigación, de forma muy especial a mis sinodales, la Dra. Lada Domratcheva Lvova, el Dr. Pablo Genaro Martínez Torres y el Dr. Juan Felipe Soriano Peña.

De forma muy especial expreso mis más sinceros agradecimientos a mi familia, amigos y todos quienes me han apoyado en el andar de este camino.

De todo corazón, muchas gracias.

Dedicatoria

A quienes me han acompañado en este tiempo en el que he cursado mi maestría.

Resumen

Este trabajo se centra en la obtención y caracterización de almidones provenientes de tubérculos mexicanos, específicamente de *Ipomoea Batatas* de diversas especies mejor conocidos como “camotes”, mismos que se estandarizó el proceso de obtención y posteriormente se caracterizó por medio de las técnicas analíticas de Difracción de Rayos X (DRX), Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FT-IR) y Microscopía Electrónica de Barrido (MEB). Una vez obtenidos los almidones se realizó la aplicación central de este trabajo, la síntesis de una película de hidrogel, cuyo reactivo base es el almidón de *Ipomoea Batatas*. La metodología consistió en obtener el almidón de *Ipomoea Batatas* mediante molienda mecánica para posteriormente separarlo por decantación y filtración para su posterior secado en horno. El proceso de la obtención de las películas de hidrogel consistió en el mezclado de los reactivos en una parrilla con agitación magnética hasta alcanzar el punto de gelatinización de entre 65°C y 70°C y su consecuente vertido en cajas Petri. Una vez transcurrido el tiempo indicado se procedió a desmoldar la película de hidrogel obtenida la cual presenta una forma uniforme, superficialmente lisa, transparente y elástica. Se realizó la caracterización por medio de la técnica analítica de Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) obteniendo las estructuras que se forman a nivel microscópico y nanoscópico. Para determinar el grado de cristalinidad y los grupos funcionales presentes en las películas se utilizó la técnica de Difracción de Rayos X (DRX) y Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FT-IR), respectivamente. Finalmente se pudo concluir que las películas de hidrogel de *Ipomoea Batatas* presentaron características fisicoquímicas que pueden indicar su potencial uso en biotecnología e ingeniería de tejidos.

Palabras clave: Caracterización, hidrogel, ingeniería tisular, *Ipomoea Batatas*, *síntesis*.

Abstract

This work focuses on obtaining and characterizing starches from Mexican tubers, specifically, *Ipomoea Batatas* of various species, better known as "sweet potatoes," the process of obtaining is standardized and subsequently characterized using analytical techniques of X-ray Diffraction (XRD), Infrared Spectroscopy by Fourier Transform (FT-IR) and Scanning Electron Microscopy (SEM), once the starches were obtained, the central application of this work was the synthesis of a hydrogel film, whose base reagent is the starch of *Ipomoea Batatas*. The methodology consisted of obtaining the starch from *Ipomoea Batatas* by mechanical grinding and then separating it by decantation and filtration for subsequent drying in an oven. The process for obtaining the hydrogel films consisted of mixing the reagents in a griddle with magnetic stirring until the gelatinization point reached between 65°C and 70°C and then pouring them into Petri dishes. After the time indicated, the hydrogel film obtained was de-moulded and had a uniform shape, with a smooth surface that was transparent and elastic. The characterization was carried out using the scanning electron microscopy (SEM) analytical technique, which obtained the structures formed at the microscopic and nanoscopic levels. X-ray diffraction (XRD) and Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) techniques were used to determine the degree of crystallinity and the functional groups in the films. Finally, it can be concluded that the hydrogel films of *Ipomoea Batatas* presented physicochemical characteristics, which may indicate their potential use in biotechnology and tissue engineering.

Keywords: Characterization, hydrogel, *Ipomoea Batatas*, synthesis, Tissue Engineering.

Índice	
CAPITULO 1	1
INTRODUCCIÓN.....	1
Antecedentes.....	1
Planteamiento del problema.....	5
Justificación	5
Hipótesis	5
Objetivo general.....	5
Objetivos particulares	5
Aportaciones derivadas de la presente tesis.....	6
CAPITULO 2	8
MARCO TEÓRICO	8
Biomateriales	8
Biomateriales en Ingeniería de Tejidos y Medicina Regenerativa	8
Hidrogeles.....	9
Clasificación de los Hidrogeles	10
Tipos de Hidrogeles en función de su síntesis.....	12
Características de los hidrogeles.....	13
Hidrogeles a base de almidón	15
Almidón	15
Amilosa	16
Amilopectina.....	17
<i>Ipomoea Batatas</i>	18
Andamios basados en hidrogeles para tejido cartilaginoso y óseo.....	19
Impresión 3D como herramienta en ITMR.....	20
CAPITULO 3	21
METODOLOGÍA.....	21
Obtención del almidón de <i>Ipomoea Batatas</i> (Camote).....	22
<i>Ipomoea Batatas</i> que se empleó para la obtención de almidón	27
Preparación de las películas de hidrogel.....	29
Desarrollo experimental de las películas de hidrogel	33
Resultados de la experimentación con Alcohol Polivinílico Técnico (APT).....	40

Experimentación con Alcohol Polivinílico adicionándolo a la solución al llegar a los 60°C	41
Experimentación con Alcohol Poli vinílico Técnico realizando el procedimiento en dos soluciones.....	44
Caracterización por medio de la técnica analítica de Difracción de Rayos X (DRX).....	50
Ejemplo de caracterización de los almidones por Difracción de Rayos X	51
Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FT-IR)	52
Ejemplos de caracterización de los almidones por la técnica FT-IR	53
Microscopia Electrónica de Barrido (MEB).....	54
CAPÍTULO 4	55
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	55
Caracterización del almidón de <i>Ipomoea Batatas</i> por medio de la técnica analítica de Difracción de Rayos X (DRX).....	55
Caracterización del almidón de <i>Ipomoea Batatas</i> por medio de la técnica analítica de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR)	58
Discusión de los resultados de FT-IR	61
Caracterización del almidón de <i>Ipomoea Batatas</i> por medio de la Microscopia Electrónica de Barrido (MEB).....	77
Caracterización de las películas de hidrogel.....	80
Caracterización de las películas de hidrogel.....	81
Caracterización de las películas de hidrogel por medio de la técnica analítica de Difracción de Rayos X (DRX).....	81
Caracterización de las películas de hidrogel por medio de la técnica analítica de Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FT-IR).....	83
Caracterización de las películas de hidrogel por medio de Microscopía Electrónica de Barrido (MEB).....	86
Estudios adicionales.....	88
Comparación de los resultados de las caracterizaciones de Difracción de Rayos X (DRX) de las muestras de los almidones con los resultados obtenidos de las caracterizaciones de Difracción de Rayos X (DRX) de las películas de hidrogel	88
Caracterización por medio de la técnica analítica de Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FT-IR) de las películas de Hidrogel que fueron adicionadas con APT	91
CAPÍTULO 5	93
CONCLUSIONES.....	93
Bibliografía.....	95

Índice de Tablas

Tabla 1. Autores que han desarrollado hidrogeles o han estudiado almidones. Fuente: Elaboración propia.....	4
Tabla 2. Clasificación de los hidrogeles con respecto al % de hinchamiento (Ramirez, 2010).....	12
Tabla 3. Etiquetas del Ipomoea Batatas que se ha empleado para la obtención de almidón con sus especificaciones y sus identificadores. Fuente: Elaboración propia.....	27
Tabla 4. Producto obtenido después de realizar el procedimiento de la obtención del almidón. Fuente: Elaboración propia.	28
Tabla 5. Experimentación inicial de las películas de hidrogel. Fuente: Elaboración propia.	33
Tabla 6. Experimentación de las películas de hidrogel que se caracterizaron. Fuente: Elaboración propia.....	36
Tabla 7. Experimentación de extrusión de la solución de hidrogel y experimentación con pos procesamiento de las películas de hidrogel. Fuente: Elaboración propia.	38
Tabla 8. Experimentación inicial de síntesis de películas de hidrogel adicionando APT.	40
Tabla 9. Experimentación con APT adicionándolo a la solución al alcanzar los 60°C. Fuente: Elaboración propia.....	41
Tabla 10. Experimentación con APT realizando el procedimiento en dos soluciones. Fuente: Elaboración propia.....	44
Tabla 11. Experimentación con APT realizando el procedimiento en dos soluciones. Parte 2. Fuente: Elaboración propia.....	46
Tabla 12. Experimentación con APT realizando el procedimiento en dos soluciones. Parte 3. Fuente: Elaboración propia.....	48
Tabla 13. Elucidación estructural de los almidones de camote (Pérez & Karen, 2019).	53
Tabla 14. Porcentaje de cristalinidad y fases identificadas en el almidón de Ipomoea Batatas Morado (P) (AIB.MorP) y en el almidón de Ipomoea Batatas Morado (S) (AIB.MorS). Fuente: Elaboración propia.....	90
Tabla 15. Porcentaje de cristalinidad y fases identificadas en el almidón de Ipomoea Batatas Morado (P) (AIB.MorP) y en el almidón de Ipomoea Batatas Morado (S) (AIB.MorS). Fuente: Elaboración propia.....	91

Índice de Figuras

Figura 1. Hidrogeles de poli (acrilamida-co-ácido maleico): a) Hinchado b) xerogel (Ramirez et al., 2016).	10
Figura 2. Estructura hidrogel convencional y semi-IPN (Ramirez et al., 2016)).	13
Figura 3. Estructura de las redes poliméricas de doble red (DN): primera red en azul (más entrecruzada), segunda red en rojo (menos entrecruzada) (Ramirez et al., 2016).	13
Figura 4. Esquema de la amilosa (Aristizábal et al., 2007).	17
Figura 5. Esquema de amilopectina (Aristizábal et al., 2007).	18
Figura 6. Diagrama de procesos de la metodología empleada para la síntesis del hidrogel. 21	
Figura 7. Paso 1 de la obtención del almidón de Ipomoea Batatas. Fuente: Elaboración propia.	23
Figura 8. Paso 2 de la obtención del almidón de Ipomoea Batatas. Fuente: Elaboración propia.	23
Figura 9. Paso 3 de la obtención del almidón de Ipomoea Batatas. Fuente: Elaboración propia.	24
Figura 10. Paso 4 de la obtención del almidón de Ipomoea Batatas. Fuente: Elaboración propia.	24
Figura 11. Detalle del paso 4 de la obtención del almidón de Ipomoea Batata. Fuente: Elaboración propia.	25
Figura 12. Paso 5 de la obtención del almidón de Ipomoea Batatas. Fuente: Elaboración propia.	25
Figura 13. Paso 6 de la obtención del almidón de Ipomoea Batatas. Fuente: Elaboración propia.	26
Figura 14. Paso 7 de la obtención del almidón de Ipomoea Batatas. Fuente: Elaboración propia.	26
Figura 15. Materiales empleados en la obtención del hidrogel en forma de película. Fuente: Elaboración propia.	29
Figura 16. Medición de los reactivos necesarios para la obtención de las películas de hidrogel. Fuente: Elaboración propia.	30
Figura 17. Mezcla de los reactivos para la obtención de las películas de hidrogel. Fuente: Elaboración propia.	31
Figura 18. Posicionamiento de la mezcla que será sometida a baño María. Fuente: Elaboración propia.	31
Figura 19. Aumento de temperatura y mezcla de los reactivos mientras se observa y se toma el tiempo. Fuente: Elaboración propia.	32
Figura 20. Vaciado de la solución sobre la caja Petri y extracción del agitador magnético. Fuente: Elaboración propia.	32
Figura 21. Difractómetro de rayos X del Centro de Investigación de Materiales de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) campus Morelia. Fuente: Elaboración propia.	51
Figura 22. Patrón de rayos X: A, B, C y V (Rodríguez-Hernández et al., 2001).	51

Figura 23. Equipo de Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier del Instituto de Materiales de Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) campus Morelia. Fuente: Elaboración propia.....	53
Figura 24. Microscopio Electrónico de Barrido del Instituto de Investigaciones Metalúrgicas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Fuente: Elaboración propia.....	54
Figura 25. Patrones de difracción de rayos X de almidones de maíz normal (tipo A) almidón de papa (tipo B) y almidón de Ginkgo (tipo C) (Pérez & Karen, 2019).	55
Figura 26. Patrones de Difracción de Rayos X de los almidones obtenidos. Fuente: Elaboración propia.....	56
Figura 27. Picos característicos de los almidones obtenidos de los camotes seleccionados. DRX del almidón de Ipomoea Batatas Mantequilla (P) (AIB.ManP) y DRX del almidón de Ipomoea Batatas Mantequilla (S) (AIB.ManS). Fuente: Elaboración propia.....	56
Figura 28. Picos característicos de los almidones obtenidos de los camotes seleccionados. DRX del almidón de Ipomoea Batatas Blanco (P) (AIB.BlaP) y DRX del almidón de Ipomoea Batatas Blanco (S) (AIB.BlaS). Fuente: Elaboración propia.	57
Figura 29. Picos característicos de los almidones obtenidos de los camotes seleccionados. DRX del almidón de Ipomoea Batatas Morado (P) (AIB.MorP) y DRX del almidón de Ipomoea Batatas Morado (S) (AIB.MorS). Fuente: Elaboración propia.....	57
Figura 30. Bandas características de las muestras analizadas de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier de los almidones analizados. Fuente: Elaboración propia.....	58
Figura 31. Bandas obtenidas de los almidones seleccionados. Bandas del almidón de Ipomoea Batatas Mantequilla (P) (AIB.ManP) y bandas del almidón de Ipomoea Batatas Mantequilla (S) (AIB.ManS). Fuente: Elaboración propia.	59
Figura 32. Bandas obtenidas de los almidones seleccionados. Bandas del almidón de Ipomoea Batatas Blanco (P) (AIB.BlaP) y bandas del almidón de Ipomoea Batatas Blanco (S) (AIB.BlaS). Fuente: Elaboración propia.	59
Figura 33. Bandas obtenidas de los almidones seleccionados. Bandas del almidón de Ipomoea Batatas Morado (P) (AIB.MorP) y bandas del almidón de Ipomoea Batatas Morado (S) (AIB.MorS). Fuente: Elaboración propia.	60
Figura 34. Espectro del almidón de camote nativo (Pérez & Karen, 2019).	60
Figura 35. Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de Ipomoea Batatas Blanco (P) (AIB.BlaP) comparándolos con las bandas características de la Amilopectina a partir de una base de datos.	62
Figura 36. Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de Ipomoea Batatas Blanco (P) (AIB.BlaP) comparándolos con las bandas característicos de la B-CYCLODEXTRIN a partir de una base de datos.	63
Figura 37. Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de Ipomoea Batatas Blanco (P) (AIB.BlaP) comparándolos con las bandas característicos de la Maltopentaose a partir de una base de datos.	64
Figura 38. Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de Ipomoea Batatas Blanco (P) (AIB.BlaP) comparándolos con las bandas característicos del almidón de maíz a partir de una base de datos.	65

Figura 39. Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de Ipomoea Batatas Blanco (S) (AIB.BlaS) comparándolos con las bandas característicos de la Amilopectina a partir de una base de datos.	66
Figura 40. Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de Ipomoea Batatas Blanco (S) (AIB.BlaS) comparándolos con las bandas característicos de B.Cyclodextrin a partir de una base de datos.	67
Figura 41. Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de Ipomoea Batatas Blanco (S) (AIB.BlaS) comparándolos con las bandas característicos de Maltopentaose a partir de una base de datos.	68
Figura 42. Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de Ipomoea Batatas Blanco (S) (AIB.BlaS) comparándolos con las bandas característicos del almidón de maíz a partir de una base de datos.	69
Figura 43. Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de Ipomoea Batatas Morado (P) (AIB.MorP) comparándolos con las bandas característicos de B-Cyclodextrin a partir de una base de datos.	70
Figura 44. Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de Ipomoea Batatas Morado (P) (AIB.MorP) comparándolos con las bandas característicos de la Amilopectina a partir de una base de datos.	71
Figura 45. Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de Ipomoea Batatas Morado (P) (AIB.MorP) comparándolos con las bandas característicos del Almidón de maíz a partir de una base de datos.	72
Figura 46. Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de Ipomoea Batatas Morado (S) (AIB.MorS) comparándolos con las bandas característicos de la Amilopectina a partir de una base de datos.	73
Figura 47. Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de Ipomoea Batatas Morado (S) (AIB.MorS) comparándolos con las bandas característicos del B-Cyclodextrin a partir de una base de datos.	74
Figura 48. Comparación de las bandas de la muestra de Almidón de Ipomoea Batatas Morado (S) (AIB.MorS) comparándolos con las bandas característicos de Maltopentaose a partir de una base de datos.	75
Figura 49. Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de Ipomoea Batatas Morado (S) (AIB.MorS) comparándolos con las bandas característicos del almidón de maíz a partir de una base de datos.	76
Figura 50. Microscopia Electrónica de Barrido del almidón de Ipomoea Batatas Mantequilla (P) (AIB.ManP) a) x500, b)x1,000. Fuente: Elaboración propia.	77
Figura 51. Microscopia Electrónica de Barrido del almidón de Ipomoea Batatas Mantequilla (S) (AIB.ManS). a) x500, b)x1,000. Fuente: Elaboración propia.	77
Figura 52. Microscopia Electrónica de Barrido del almidón de Ipomoea Batatas Blanco (P) (AIB.BlaP). a) x500, b)x1,000. Fuente: Elaboración propia.	78
Figura 53. Microscopia Electrónica de Barrido del almidón de Ipomoea Batatas Blanco (S) (AIB.BlaS). a) x500, b)x1,000. Fuente: Elaboración propia.	78
Figura 54. Microscopia Electrónica de Barrido del almidón de Ipomoea Batatas Morado (P) (AIB.MorP) (AC.MorP). a) x500, b)x1,000. Fuente: Elaboración propia.	79

Figura 55. Microscopia Electrónica de Barrido del almidón de Ipomoea Batatas Morado (S) (AIB.MorS) a) x500, b)x1,000. Fuente: Elaboración propia.	79
Figura 56. Películas de hidrogel de: a) Almidón de Ipomoea Batatas Mantequilla (P) (AIB.ManP), b) Almidón de Ipomoea Batatas Mantequilla (S) (AIB.ManS), c) Almidón de Ipomoea Batatas Blanco (P) (AIB.BlaP), d) Almidón de Ipomoea Batatas Blanco (S) (AIB.BlaS), e) Almidón de Ipomoea Batatas Morado (P) (AIB.MorP), f) Almidón de Ipomoea Batatas Morado (S) (AIB.MorS). Fuente: Elaboración propia.....	80
Figura 57. Difractogramas obtenidos de las películas de hidrogel de: Almidón de Ipomoea Batatas Mantequilla (P) (AIB.ManP), Almidón de Ipomoea Batatas Mantequilla (S) (AIB.ManS), Almidón de Ipomoea Batatas Blanco (P) (AIB.BlaP), Almidón de Ipomoea Batatas Blanco (S) (AIB.BlaS), Almidón de Ipomoea Batatas Morado (P) (AIB.MorP), Almidón de Ipomoea Batatas Morado (S) (AIB.MorS). Fuente: Elaboración propia.....	81
Figura 58. Difractogramas obtenidos de las películas de Hidrogel de: Almidón de Ipomoea Batatas Mantequilla (P) (AIB.ManP), Almidón de Ipomoea Batatas Mantequilla (S) (AIB.ManS). Fuente: Elaboración propia.....	82
Figura 59. Difractogramas obtenidos de las películas de Hidrogel de: Almidón de Ipomoea Batatas Blanco (P) (AIB.BlaP), Almidón de Ipomoea Batatas Blanco (S) (AIB.BlaS). Fuente: Elaboración propia.....	82
Figura 60. Difractogramas obtenidos de las películas de Hidrogel de: Almidón de Ipomoea Batatas Morado (P) (AIB.MorP), Almidón de Ipomoea Batatas Morado (S) (AIB.MorS). Fuente: Elaboración propia.....	83
Figura 61. Bandas características obtenidas de las películas de hidrogel de: Almidón de Ipomoea Batatas Mantequilla (P) (AIB.ManP), Almidón de Ipomoea Batatas Mantequilla (S) (AIB.ManS), Almidón de Ipomoea Batatas Blanco (P) (AIB.BlaP), Almidón de Ipomoea Batatas Blanco (S) (AIB.BlaS), Almidón de Ipomoea Batatas Morado (P) (AIB.MorP), Almidón de Ipomoea Batatas Morado (S) (AIB.MorS). Fuente: Elaboración propia.	83
Figura 62. Bandas características obtenidas de las películas de Hidrogel de: Almidón de Ipomoea Batatas Mantequilla (P) (AIB.ManP), Almidón de Ipomoea Batatas Mantequilla (S) (AIB.ManS). Fuente: Elaboración propia.....	84
Figura 63. Bandas características obtenidas de las películas de Hidrogel de: Almidón de Ipomoea Batatas Blanco (P) (AIB.BlaP), Almidón de Ipomoea Batatas Blanco (S) (AIB.BlaS). Fuente: Elaboración propia.	85
Figura 64. Bandas características obtenidas de las películas de Hidrogel de: Almidón de Ipomoea Batatas Morado (P) (AIB.MorP), Almidón de Ipomoea Batatas Morado (S) (AIB.MorS). Fuente: Elaboración propia.	85
Figura 65. a) Superficie de la película de hidrogel de almidón de Ipomoea Batatas Blanco (P) (AIB.BlaP) a x200, b) Sección del corte de la película de hidrogel de almidón de Ipomoea Batatas Blanco (P) (AIB.BlaP) a x500. Fuente: Elaboración propia.	86
Figura 66. a) Superficie de la película de hidrogel de almidón de Ipomoea Batatas Blanco (S) (AIB.BlaS) a x500, b) Sección del corte de la película de hidrogel de almidón de Ipomoea Batatas Blanco (P) (AIB.BlaS) a x500. Fuente: Elaboración propia.	86

Figura 67. a) Superficie de la película de hidrogel de almidón de Ipomoea Batatas Morado (P) (AIB.MorP) a x500, b) Sección del corte de la película de hidrogel de almidón de Ipomoea Batatas Morado (P) (AIB.MorP) a x100. Fuente: Elaboración propia.	87
Figura 68. a) Superficie de la película de hidrogel de almidón de Ipomoea Batatas Morado (S) (AIB.MorS) a x500, b) Sección del corte de la película de hidrogel de almidón de Ipomoea Batatas Morado (S) (AIB.MorS) a x500. Fuente: Elaboración propia.	87
Figura 69. Comparación de los resultados de DRX del almidón de Ipomoea Batatas Mantequilla (P) (AIB.ManP), el almidón de Ipomoea Batatas Mantequilla (S) (AIB.ManS) y los resultados de DRX de las películas de hidrogel de almidón de Ipomoea Batatas Mantequilla (P) (AIB.ManP) y de las películas de hidrogel de almidón de Ipomoea Batatas Mantequilla (S) (AIB.ManS). Fuente: Elaboración propia.	88
Figura 70. Comparación de los resultados de DRX del almidón de Ipomoea Batatas Blanco (P) (AIB.BlaP), el almidón de Ipomoea Batatas Blanco (S) (AIB.BlaS) y los resultados de DRX de las películas de hidrogel de almidón de Ipomoea Batatas Blanco (P) (AIB.BlaP) y de las películas de hidrogel de almidón de Ipomoea Batatas Blanco (S) (AIB.BlaS). Fuente: Elaboración propia.	89
Figura 71. Comparación de los resultados de DRX del almidón de Ipomoea Batatas Morado (P) (AIB.MorP), el almidón de Ipomoea Batatas Morado (S) (AIB.MorS) y los resultados de DRX de las películas de hidrogel de almidón de Ipomoea Batatas Morado (P) (AIB.MorP) y de las películas de hidrogel de almidón de Ipomoea Batatas Morado (S) (AIB.MorS). Fuente: Elaboración propia.	89
Figura 72. Evaluación de porcentaje de cristalinidad en muestra de almidón de Ipomoea Batatas Morado (P) (AIB.MorP). Fuente: Elaboración propia.	90
Figura 73. Bandas características obtenidas de las películas de Hidrogel de: Almidón de Ipomoea Batatas Blanco (P) con APT (AIB.BlaP.APT), Almidón de Ipomoea Batatas Blanco (S) con APT (AIB.BlaS.APT). Fuente: Elaboración propia.	92
Figura 74. Bandas características obtenidas de las películas de Hidrogel de: Almidón de Ipomoea Batatas Morado (P) con APT (AIB.MorP.APT), Almidón de Ipomoea Batatas Morado (S) con APT (AIB.MorS.APT). Fuente: Elaboración propia.	92

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se realiza una introducción al tema, se revisan antecedentes, se define el problema a abordar, se plantea una hipótesis y se definen los objetivos.

Antecedentes

En la actualidad, es de suma importancia el estudio de los biomateriales, esto, debido a la biocompatibilidad que estos ofrecen con lo cual, el desarrollo de los mismos brinda mayores posibilidades de trasplantes de órganos sin la necesidad de donantes, además de que no existe el problema del rechazo o de la diferencia de medidas ya que estos se pueden adaptar a la persona que los requiere. Dentro de la gran variedad de biomateriales, los hidrogeles están siendo estudiados ampliamente debido a las características que presentan.

Los estudios sobre hidrogeles están en aumento debido a su amplio uso en la industria farmacéutica ya que sus propiedades brindan la facilidad de emplearlos en el ámbito médico y los mismos son biocompatibles y biodegradables. La diversidad de hidrogeles se presenta desde el método de obtención o bien de si son naturales o sintéticos, una alternativa es la síntesis de estos a base de almidón. Los hidrogeles a base de almidón son de suma relevancia ya que se pueden obtener mediante técnicas de síntesis verde mismos que pueden emplearse para el cultivo celular. El desarrollo de hidrogeles para cultivo celular es la base para la correcta arquitectura de un andamio empleado en la ingeniería tisular, con el cual su estudio, síntesis y caracterización podría representar un avance significativo.

Dentro de los investigadores que han contribuido al desarrollo de hidrogeles para uso en ingeniería biomédica e ingeniería tisular destacan:

- Bernal-Avila et al., (2024), en “Apósitos a base de almidón: revisión sistemática sobre métodos de caracterización fisicoquímica y su potencial en la cicatrización de heridas”. Realiza una investigación sobre el uso y aplicación de los apósitos a base de almidón para su potencial uso en cicatrización de heridas.
- Koshenaj & Ferrari, (2024). A comprehensive review on starch-based hydrogels: from tradition to innovation, opportunities, and drawbacks. *Polymers*. La revisión aborda los recientes avances en el conocimiento sobre la producción de hidrogeles sostenibles a base de almidón utilizando high-pressure processing (HPP) como un método de preparación innovador y limpio.
- Qamruzzaman et al., (2022). An overview on starch-based sustainable hydrogels: Potential applications and aspects. *Journal of Polymers and the Environment*. Se

estudian diversas propuestas de síntesis de hidrogel a base de almidón como sustituto a hidrogeles sintéticos.

- Cui et al., (2022). Recent advances in the preparation, characterization, and food application of starch-based hydrogels. *Carbohydrate Polymers*. En esta revisión describe en detalle la preparación de hidrogeles a base de almidón mediante el método de retrogradación física y los métodos de reticulación química, así como los factores intrínsecos y extrínsecos que afectan al rendimiento de los hidrogeles
- Kalendova et al., (2021). Hydrogels based on starch from various natural sources: Synthesis and characterization. *Starch-Stärke*. Se sintetizaron hidrogeles para su posible uso agrícola, como reguladores de la humedad del suelo y fuentes de nutrientes para la nutrición de las plantas.
- Olate Moya, (2020). “Nanocompósitos hidrogeles biopoliméricos con óxido de grafeno para impresión 3D de andamios para ingeniería de tejido cartilaginosa”. Este trabajo de tesis desarrolla nanocompósitos hidrogeles biomiméticos de la matriz extracelular de cartílago para la fabricación de andamios y constructos mediante impresión/bioimpresión 3D, con bioactividad y procesabilidad mejorada.
- Noè et al., (2020). Light processable starch hydrogels. *Polymers*. Se estudiaron con éxito hidrogeles procesables por luz utilizando almidón de maíz como materia prima.
- Dong et al., (2024). Starch-based hydrogels for environmental applications: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, Este trabajo consiste en la síntesis y aplicación de un hidrogel para el tratamiento de aguas.
- Lara Pedraza, (2022). “Síntesis y caracterización de bioplásticos a base de almidón de camote morado y amarillo”. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Este trabajo se enfoca en la síntesis y caracterización de películas bioplásticas empleando como materia base el almidón de camote.
- Soto & Oliva, (2012). Métodos para preparar hidrogeles químicos y físicos basados en almidón: Una revisión. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, resumen algunos métodos para la preparación de hidrogeles físicos y/o químicos a partir de almidón.
- Ruffa, (2015). En la tesis doctoral “Desarrollo y caracterización mecánica de hidrogeles biomédicos basados en almidón y poli (vinil alcohol)” de la Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ingeniería. Argentina. Este trabajo se centra en la síntesis y caracterización n y caracterizan cuatro hidrogeles en base a almidón comercial y poli (vinil Alcohol) (PVA) con potenciales aplicaciones biomédicas.

- Campos Rosillo, (2015). Hidrogeles de almidón-PVA como vehículos de antimicrobianos para el envasado activo de alimentos. Universidad Politécnica de Valencia En este trabajo se obtuvieron hidrogeles de almidón-PVA (poli vinil alcohol) mediante ciclos de congelación-descongelación con y sin tratamiento con ácidos policarboxílicos (ácido cítrico y ácido maleico) analizando su microestructura y su capacidad para incorporar agentes antimicrobianos (aceite esencial de canela: CEO) en forma de emulsión acuosa con gelatina como estabilizante.
- Pérez & Karen, (2019). “Cambio estructural del almidón como consecuencia del escaldado en camote (*Ipomoea batatas*) de diferentes variedades”. Caracteriza y contrasta el comportamiento estructural del escaldado en camote a diversas temperaturas.
- Konstantakos et al., (2019). Preparation of model starch complex hydrogels. Food Hydrocolloids. En este estudio utilizaron un método sencillo para fabricar hidrogeles porosos tridimensionales utilizando complejos de inclusión de almidón como material estructura.
- Larrea-Wachtendorff et al., (2021). Starch-based hydrogels produced by high-pressure processing (HPP): Effect of the starch source and processing time. Food Engineering Reviews. En este trabajo se evaluaron los efectos de la fuente de almidón (almidón de arroz, maíz, trigo y tapioca) y del tiempo de procesado (600 MPa durante 5 y 15 min) sobre la formación del gel y sobre las características físicas de las estructuras formadas.
- Biduski et al., (2018). Starch hydrogels: The influence of the amylose content and gelatinization method. International journal of biological macromolecules. Evalúa la influencia del contenido de amilosa y el método de gelatinización en las características fisicoquímicas de los hidrogeles de almidón de arroz nativo y reticulado.
- Fernández García & Gordillo Ibla, (2020). “Diseño de un biomaterial tipo hidrogel basado en un biopolímero funcionalizado para su potencial aplicación en el desarrollo de biotintas con astrocitos”. Universidad El Bosque, Facultad de Bioingeniería. Bogotá D.C. Detalla y evalúa un biomaterial tipo hidrogel con características conductivas basado en la funcionalización del quitosano con el poli pirrol para su aplicación en el desarrollo de biotintas con astrocitos.
- Van Nieuwenhove et al., (2016). Gelatin-and starch-based hydrogels. Part A: Hydrogel development, characterization and coating. Carbohydrate polymers, Este trabajo tiene como objetivo construir la matriz ideal de andamios cuyas propiedades físico-químicas puedan ser alteradas según la aplicación de regeneración tisular. Se

SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN HIDROGEL A BASE DE ALMIDÓN DE *IPOMOEA BATATAS* PARA USO EN INGENIERÍA TISULAR

desarrollaron películas de hidrogel que consisten en bloques de construcción modificados con gelatina y almidón-pentanoato de metacrilamida.

En la tabla 1 se muestra un concentrado de investigaciones sobre el desarrollo de hidrogeles a partir de almidones; así como estudios sobre almidones. Como se puede apreciar en dicha tabla no se tiene evidencia de desarrollo de hidrogeles a partir de almidones de *Ipomoea Batatas*, lo que representa una ventana de oportunidad para contribuir al desarrollo tecnológico y el estado del arte en la síntesis de hidrogeles a base de almidones, y que es en gran medida el sustento de la presente tesis y la aportación primordial a la misma.

Tabla 1. Autores que han desarrollado hidrogeles o han estudiado almidones. Fuente: Elaboración propia.

Autor	Almidón	Hidrogel
Bernal-Avila et al., (2024)	X (Diversos orígenes)	---
Koshenaj & Ferrari, (2024)	X (Diversos orígenes)	---
Lara Pedraza, (2022)	X (<i>Ipomoea Batatas</i> variedades amarilla y morada)	---
Qamruzzaman et al., (2022)	X (Diversos orígenes)	X
Cui et al., (2022)	X (Diversos orígenes)	X
Ruffa, (2015)	X (Almidón de papa)	X
Soto & Oliva, (2012)	X (Diversos orígenes)	X
Campos Rosillo, (2015)	X (Diversos orígenes)	X
Pérez & Karen, (2019)	X (<i>Ipomoea Batatas</i> variedades blanca amarilla y morada)	---
Konstantakos et al., (2019)	X (Maíz nativo)	X
Larrea-Wachtendorff et al., (2021)	X(almidón de arroz, maíz, trigo y tapioca)	X
Biduski et al., (2018)	X (Almidón de arroz)	X
Kalendova et al., (2021)	X (Maíz, maíz ceroso, trigo, patata y almidón de arroz.	X
Olate Moya, (2020)	---	X
Noè et al., (2020)	X (Almidón de maíz)	X
Dong et al., (2024)	X (Diversos orígenes)	X
Fernández García & Gordillo Ibla, (2020)	---	X
Van Nieuwenhove et al., (2016)	X (Diversos orígenes)	X
Irepan-Avilés I.M. (presente tesis)	X (<i>Ipomoea Batatas</i> variedades, morada, blanca y mantequilla)	X

Planteamiento del problema

Debido al sedentarismo existe un adelgazamiento de articulaciones, pérdida de cartílago además de problemas asociados con el envejecimiento; eventualmente las personas con estos padecimientos será necesario sustituirles piezas de cartílago y hueso por prótesis y así mejorar su calidad de vida.

Una alternativa a las prótesis tradicionales en etapas tempranas al desgaste de cartílago o hueso se puede abordar por medio de técnicas de tejido biológico mediante ingeniería tisular.

La ingeniería tisular utiliza el diseño de biomateriales que son bioactivos y biodegradables sobre los cuales se cultivan células para que con el empleo de estímulos mecánicos, eléctricos y químicos produzcan el tejido biológico sobre el biomaterial diseñado por la ingeniería tisular, estos biomateriales reciben el nombre de andamios.

En virtud de lo anteriormente expuesto el presente trabajo de tesis plantea el desarrollo de un biomaterial a base de *Ipomoea Batatas* para su potencial uso como andamio en ingeniería tisular, centrándose principalmente en la síntesis y la caracterización del mismo, y que sirva como base para futuras investigaciones en torno a la viabilidad celular y el desarrollo de tejidos artificiales tales como piel, cartílago, hueso, entre otros.

Justificación

Dado el problema existente en México debido a las enfermedades degenerativas de tejido osteocondral se presenta como nicho de oportunidad el empleo de ingeniería tisular.

Diversos autores han desarrollado hidrogeles a base de almidones con aplicación en ingeniería tisular, sin embargo no se tienen documentados hasta el momento hidrogeles a base de almidón de camote en ingeniería tisular y que dada su facilidad de cultivo en el territorio mexicano representaría una solución sustentable para el desarrollo de tejidos biológicos artificiales, consecuentemente se contribuiría a mitigar el problema de la carencia de donadores ya que podrían fabricarse los tejidos en laboratorio.

Hipótesis

A partir de almidones de *Ipomoea Batatas* de diversas especies se obtiene un hidrogel con características y propiedades específicas para su empleo en la ingeniería tisular.

Objetivo general

Sintetizar y caracterizar un hidrogel a base de almidones provenientes de *Ipomoea Batatas* para ser utilizados en ingeniería tisular.

Objetivos particulares

1. Obtener almidón a partir de *Ipomoea Batatas*.
2. Realizar la interpretación de la caracterización del almidón obtenido por medio de las técnicas analíticas de Difracción de Rayos X (DRX), Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FT-IR) y Microscopia Electrónica de Barrido (MEB).
3. Sintetizar un hidrogel a partir de almidones de *Ipomoea Batatas*.

4. Realizar la interpretación de la caracterización del hidrogel obtenido por medio de las técnicas analíticas de Difracción de Rayos X (DRX), Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FT-IR) y Microscopia Electrónica de Barrido (MEB).

Aportaciones derivadas de la presente tesis

- Desarrollo de una metodología de síntesis verde de hidrogeles a base de almidones de tubérculos comunes y de fácil cultivo en territorio mexicano, como el camote, para ser utilizado en aplicaciones biomédicas como lo es la ingeniería tisular.
- Sintetizar hidrogeles de bajo costo para ser utilizados como andamios en el desarrollo de tejidos artificiales tales como cartílago y hueso.
- Contribuir al estado del arte en torno a hidrogeles a base de almidones para aplicaciones biomédicas.
- Desarrollo de biomateriales para uso en ingeniería tisular mediante una alternativa vegetal que reduce el impacto ambiental y evita productos derivados de animales.

Este trabajo se desarrolló esencialmente en dos partes, empezando con la obtención del almidón de *Ipomoea Batatas* el cual se emplea como materia prima y base; y como segunda parte la síntesis del hidrogel.

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

En el capítulo 2 se presenta una revisión sobre conceptos fundamentales que son necesarios conocer al abordar el tema de la presente tesis, se empieza con la definición de conceptos básicos hasta llegar a conceptos particulares.

Biomateriales

Los biomateriales son productos diseñados para reproducir la función de los tejidos vivos en sistemas biológicos de manera segura, funcional y con una buena aceptación fisiológica. Estos materiales se implantan en el cuerpo, ya sea de forma temporal o permanente, con el objetivo de restaurar defectos existentes y, en ciertos casos, promover la regeneración de tejidos. Es fundamental que los biomateriales en contacto con tejidos vivos no causen ninguna alteración, lo que restringe las opciones de materias primas disponibles para su diseño. A pesar de esta limitación, los biomateriales constituyen un diverso conjunto de materiales con características muy variadas (Lizarbe, 2007).

Biomateriales en Ingeniería de Tejidos y Medicina Regenerativa

El desarrollo de nuevos materiales biocompatibles y bioactivos ha sido fundamental en el avance de la medicina desde tiempos antiguos. Hoy en día, este progreso proporciona soluciones a diversos problemas de salud a través de biomateriales inspirados en la biología. Uno de los campos emergentes que ha cobrado gran relevancia en las últimas décadas es la Ingeniería de Tejidos y Medicina Regenerativa (ITMR). En este ámbito, se emplean principios de ingeniería y ciencias de la vida para crear sustitutos biológicos que restauren, mantengan o mejoren la función de tejidos u órganos completos. La ITMR ha avanzado considerablemente gracias al uso terapéutico de células madre mesenquimales (MSC, por sus siglas en inglés). Este enfoque generalmente implica varias etapas, comenzando con la extracción de tejido del paciente (mediante biopsia) y el aislamiento de las MSCs a partir de dicho tejido. Estas células primordiales tienen la capacidad de diferenciarse en diversos fenotipos, incluyendo osteocitos (células del hueso), adipocitos (células del tejido adiposo) y condrocitos (células del cartílago), entre otros. Una vez aisladas, las MSCs se cultivan en un andamio tridimensional con poros interconectados, diseñado a partir de un biomaterial específico que actúa como nicho. A través de estímulos bioquímicos o físicos, se induce la diferenciación de las MSCs sobre el andamio, provocando la formación del tejido que se desea reparar. Finalmente, esta estructura compuesta por el andamio y el nuevo tejido se injerta en la zona afectada del paciente. Con el tiempo, el andamio se biodegrada mediante la acción de enzimas y células especializadas, siendo reemplazado completamente por tejido nuevo. Inicialmente, las investigaciones en ITMR se centraron en la regeneración ósea, pero en la actualidad el enfoque se ha ampliado para incluir la regeneración de cartílago, tejido adiposo, músculos y tejido nervioso. En particular, el tejido cartilaginoso, que está formado por condrocitos en una matriz extracelular (ECM, por sus siglas en inglés) con escasa

vascularización, presenta limitaciones en su capacidad de auto-regeneración ante lesiones o degeneraciones. Esta situación ha llevado a muchos investigadores a dedicar sus esfuerzos a la ITMR para abordar este tipo de problemas.

En Estados Unidos, las enfermedades degenerativas del cartílago, como la osteoartritis (OA), afectan a una gran parte de la población adulta mayor. En 2015, el número de personas tratadas por esta enfermedad se había duplicado en comparación con 1996, lo que representó un gasto público de 81. 2 billones de dólares, equivalente al 5% del gasto total en salud, similar al gasto en tratamientos contra el cáncer. La OA afecta a 1 de cada 3 personas mayores de 65 años, y su prevalencia ha aumentado debido a factores de riesgo como la obesidad, la falta de actividad física y otros problemas articulares. En la investigación traslacional, la utilización de andamios basados en ECM descelularizada se ha convertido en un enfoque prometedor para abordar estos desafíos. Los polímeros sintéticos están actualmente en ensayos clínicos que se encuentran entre las fases II y III. Con este avance, se anticipa que en las próximas décadas se comenzará a extender el uso de biomateriales como andamios para la ingeniería de tejidos y medicina regenerativa (ITMR) en el tratamiento de diversas condiciones, incluidas las enfermedades degenerativas del cartílago. Esto será posible a medida que se desarrollen nuevos materiales bioactivos que sean escalables a nivel industrial (Olate Moya, 2020).

Hidrogeles

Los biomateriales poliméricos son ampliamente reconocidos por su aplicación en el campo de la medicina (Rojas Cortés et al., 2008). Dentro de este grupo, los hidrogeles se destacan notablemente, ya que están formados por una red tridimensional de cadenas de polímeros hidrofílicos que retienen una considerable cantidad de agua, superior al 75%, en los espacios que existen entre las macromoléculas (Lugao et al., 1998).

Estos materiales son insolubles en agua a temperatura y pH fisiológicos, sin embargo, presentan una notable capacidad de hinchamiento en un medio acuoso. Su buena resistencia mecánica los hace ideales para ser utilizados como recubrimientos en diversas aplicaciones, tales como quemaduras, heridas de cicatrización difícil, ulceraciones, escaras e injertos de piel, entre otros tipos de lesiones. Gracias a que el agua es su componente principal, estos materiales crean un ambiente húmedo fisiológico en el lecho de la herida, lo que favorece el proceso de curación ((Soler & Rodríguez, n.d.); (Lizarbe, 2007)).

Los hidrogeles han suscitado un notable interés en el ámbito científico por sus aplicaciones biomédicas. Esto se debe a que presentan características muy favorables para ser utilizados como vehículos en la liberación controlada y selectiva de fármacos dentro del organismo. Su estructura tridimensional les permite almacenar moléculas pequeñas, y, además, su alto contenido de agua les confiere biocompatibilidad, lo que reduce la irritación causada por la fricción con los tejidos en contacto. Asimismo, esta propiedad ayuda a disminuir la desnaturalización de proteínas (Ramirez et al., 2016).

La característica más relevante de los hidrogeles es su índice de hinchamiento, que mide la cantidad de fluido que pueden absorber en su interior. Diversos estudios han demostrado que, al modificar la composición inicial y la densidad de entrecruzamiento de un hidrogel, se altera su índice de hinchamiento. Cuando se incrementa la incorporación de monómeros hidrofílicos en la reacción de copolimerización, se generan más grupos que favorecen la atracción hacia las moléculas de agua, lo que refuerza la interacción del hidrogel con soluciones acuosas. En contraste, si se aumenta la proporción de un monómero hidrófobo, ocurre lo opuesto. Esto se debe a que se potencia la interacción entre las cadenas de polímeros, lo que a su vez disminuye la interacción de estas con las moléculas de agua (Ramirez et al., 2016).

Por otro lado, a medida que disminuye el tamaño de los poros en la red, los hidrogeles pueden experimentar una notable reducción en su capacidad máxima para retener agua. Esta característica puede ajustarse aumentando el porcentaje de agente entrecruzante durante el proceso de polimerización. Un incremento en el grado de entrecruzamiento conlleva a una disminución del volumen libre dentro de la estructura de la red del hidrogel, lo que a su vez reduce el tamaño de los poros (Figura 1) (Ramirez et al., 2016).

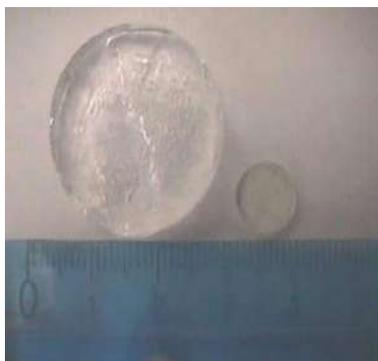


Figura 1. Hidrogeles de poli (acrilamida-co-ácido maleico): a) Hinchado b) xerogel (Ramirez et al., 2016).

Los hidrogeles poseen la notable capacidad de absorber una considerable cantidad de agua, generando que se hinchen, que se traduce como un aumento en su volumen y, a su vez, tiene la capacidad de deshincharse como respuesta a cambios en su medio, ya sea por la luz, la temperatura, el pH, la concentración de disolvente, entre otros (Bozoğlan et al., 2020).

Clasificación de los Hidrogeles

Se pueden clasificar los geles según diferentes criterios. En primer lugar, según su fuente de obtención, podemos distinguir entre geles naturales y geles sintéticos. Además, en función de la naturaleza del entrecruzamiento, se dividen en geles covalentes y geles físicos. También se pueden clasificar según el tipo de red, como redes de fotopolímeros, copolímeros, redes de interpenetración o redes con dobles enlaces. En cuanto a su porosidad, encontramos geles homogéneos, que son óptimamente transparentes, y geles macroporosos. Otras categorías incluyen geles neutros e iónicos, así como aquellos que son degradables y no degradables. (Ramirez, 2010).

A continuación, se describen brevemente distintas clasificaciones de hidrogeles:

- Según el tipo de entrecruzamiento, podemos clasificar los hidrogeles en dos categorías: los hidrogeles reticulados físicamente y los hidrogeles reticulados químicamente. Los hidrogeles físicos se caracterizan por ser reversibles y están compuestos de enlaces no covalentes. Por otro lado, los hidrogeles químicos son más estables e irreversibles, ya que se forman mediante enlaces covalentes entre las cadenas de polímero.
- Según su tamaño, se pueden clasificar los hidrogeles en macroscópicos, microgeles y nanohidrogeles.
- Los hidrogeles pueden clasificarse según su sensibilidad a los estímulos en dos categorías. Por un lado, tenemos los hidrogeles no sensibles, que se hinchan al absorber agua sin reaccionar a las variaciones del entorno. Por otro lado, están los hidrogeles sensibles a estímulos, también conocidos como hidrogeles inteligentes, que se expanden en respuesta a cambios sutiles en el ambiente, tales como la temperatura, el pH, la fuerza iónica, la luz, los campos eléctricos o la presencia de biomoléculas.
- Dependiendo de la carga, los hidrogeles pueden clasificarse en no iónicos, catiónicos, aniónicos y anfóteros, según los grupos funcionales que se encuentran en los polímeros que los componen.
- Según su capacidad de degradabilidad, los hidrogeles se clasifican en biodegradables y no biodegradables. En el ámbito de la biomedicina, los materiales biodegradables son especialmente valiosos, ya que no necesitan ser extraídos mediante cirugía.
- Según su origen, los polímeros pueden clasificarse en naturales o sintéticos. Entre los ejemplos de polímeros naturales se encuentran la gelatina, el quitosán, el ácido hialurónico, el colágeno, el dextrano y el alginato, entre otros. Por otro lado, los polímeros sintéticos incluyen el ácido metacrílico y sus derivados, el ácido acrílico, el acetato de vinilo y la N-vinilpirrolidona, por mencionar algunos.
- Dependiendo del método de preparación, los hidrogeles pueden clasificarse en homopolímeros, copolímeros o redes de polímeros interpenetrados (IPN) y semi-IPN. Los hidrogeles homopoliméricos están compuestos por un solo tipo de monómero, mientras que los copoliméricos se forman a partir de dos o más monómeros diferentes, incluyendo al menos un componente hidrófilo que se distribuye de manera aleatoria, alterna o en bloques a lo largo de las cadenas del polímero.
- Por otro lado, los hidrogeles IPN, según la definición de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), son polímeros que consisten en dos o más redes parcialmente entrelazadas a nivel molecular, sin que existan enlaces covalentes entre ellas, lo que hace que no puedan separarse sin romper los enlaces químicos. En contraste, los semi-IPN están formados por una o más redes y uno o más polímeros lineales o ramificados. Su característica distintiva es que, a nivel molecular, al menos algunas de las macromoléculas lineales o ramificadas penetran en al menos una de las redes. A diferencia de los IPN, en los semi-IPN es posible separar los polímeros lineales o ramificados de la red sin necesidad de romper enlaces químicos. (Martínez, 2017).

Además, pueden clasificarse según el porcentaje de hinchamiento que presentan (Tabla 2).

Tabla 2. Clasificación de los hidrogeles con respecto al % de hinchamiento (Ramirez, 2010).

Hinchamiento	% de Absorción
Bajo	20-50
Medio	50-90
Alto	90-99.5
Superabsorbente	>99.5

El porcentaje de hinchamiento se puede calcular de manera sencilla utilizando la siguiente fórmula, lo que nos permite realizar el proceso a través de gravimetría. (Ramirez, 2010).

$$\% \text{ hinchamiento} = \frac{W_t - W_o}{W_o} \times 100$$

Donde:

W_t representa el peso del polímero en estado hinchado, mientras que W_o corresponde al peso del polímero en estado seco.

Tipos de Hidrogeles en función de su síntesis

Según su estructura química y los componentes empleados en la síntesis de los hidrogeles, es posible clasificarlos en las siguientes categorías:

- Los hidrogeles copolímeros, además de incluir un agente de entrecruzamiento, están compuestos por dos o más monómeros que pueden polimerizarse para formar cadenas con una composición aleatoria o en bloques, dependiendo de la reactividad de los monómeros y las condiciones de la reacción. Este tipo de hidrogeles se sintetiza con el objetivo de incorporar o mejorar propiedades específicas del material resultante, como, por ejemplo, la característica hidrofílica o la sensibilidad al pH de alguno de los monómeros, entre otras. (Ramirez et al., 2016).
- Los hidrogeles de redes semi-interpenetradas (semi-IPN) se obtienen a través de la polimerización y reticulación de un monómero en presencia de un polímero previamente formado. De este modo, el polímero se encuentra incorporado en la red tridimensional del hidrogel. Esta estrategia busca mejorar las propiedades mecánicas de los hidrogeles, así como también integrar las características del polímero en el material final. En la mayoría de los casos, se utilizan biopolímeros, como el quitosano, para su elaboración. En la Figura 2 se muestra la estructura de un hidrogel convencional y un hidrogel semi-IPN (Ramirez et al., 2016).

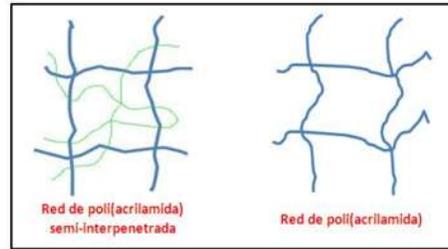


Figura 2. Estructura hidrogel convencional y semi-IPN (Ramirez et al., 2016).

- Hidrogeles de doble red. Los geles de doble red (DN) se componen de dos redes interpenetradas (Figura 3) que lo hacen suave pero resistente, por lo que se espera un mejor rendimiento en las propiedades mecánicas. Estos geles blandos y húmedos con alta resistencia mecánica, baja fricción superficial, y altas propiedades de resistencia al deterioro son buenos candidatos como sustitutos de tejidos que soportan carga, y han sido sintetizados de poli (ácido 2- acrilamida-2-metil-1-propansulfónico) (PAMPS) (primera red) y poliacrilamida (PAAm) (segunda red). Estos hidrogeles presentan propiedades mecánicas superiores a los convencionales, son obtenidos mediante una síntesis de dos etapas donde la segunda red se forma en presencia de la primera, pueden aplicarse como prótesis de partes blandas como cartílagos (Ramirez et al., 2016).

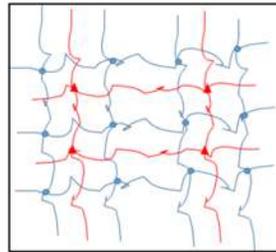


Figura 3. Estructura de las redes poliméricas de doble red (DN): primera red en azul (más entrecruzada), segunda red en rojo (menos entrecruzada) (Ramirez et al., 2016).

- Los hidrogeles híbridos se caracterizan por incluir, además de una fase orgánica compuesta por cadenas de polímeros entrelazadas, una fase inorgánica que puede interactuar físicamente (por ejemplo, a través de enlaces de hidrógeno) o químicamente, dando lugar a nuevas estructuras. Existen varias maneras de sintetizarlos; la más común implica una polimerización por adición, en la cual se utiliza una suspensión acuosa de la fase inorgánica como medio. Este tipo de hidrogel ofrece propiedades superiores en comparación con los hidrogeles convencionales (Ramirez et al., 2016).

Características de los hidrogeles

Un hidrogel presenta características bien conocidas, tales como: hidrofiliidad, elasticidad, suavidad e insolubilidad en agua; adicionalmente, pueden exhibir una notable resistencia

mecánica, y su naturaleza hidrófila se atribuye a la presencia de grupos funcionales como el -CONH₂, -OH y -COOH, entre otros. Los hidrogeles son materiales apropiados y presentan una serie de ventajas para usos biomédicos debido a sus múltiples características, tales como: la posibilidad de diseñar sus características físico-químicas, por ejemplo, una mayor resistencia a la compresión, mayor módulo de Young, mayor afinidad entre cadenas poliméricas que disminuya la necesidad de usar catalizadores para su fabricación, entre otros. Adicionalmente, tienen capacidad para encapsular compuestos o principios activos, siendo esta una de sus principales aplicaciones y, por si fuera poco, pueden estar constituidos por varios polímeros como en el caso del quitosano y el alginato o el quitosano y la agarosa. Otra de las características que pueden tener los hidrogeles es la inyectabilidad y sensibilidad a estímulos. La inyectabilidad es un término relacionado con la facilidad de administración de una solución y da a entender cuanta fuerza se necesita para empujar una muestra a una velocidad de inyección determinada que, por lo general, dicha muestra es extruida a través de una abertura como lo es una aguja; mientras que la sensibilidad a estímulos es una característica química presente en algunos hidrogeles, por lo que se procede a mencionar dos de ellos: termosensibilidad y sensibles al pH. Los hidrogeles termosensibles son aquellos que cambian de volumen a medida que varía la temperatura del medio. El gel presenta grupos hidrofóbicos e hidrofílicos, los cuales pueden verse afectados por cambios en la temperatura; además, son usados como portadores de fármacos, que se inyectan en el cuerpo (Giraldo Salazar, 2022).

Por otra parte, los hidrogeles sensibles al pH son aquellos donde el volumen del hidrogel cambia dependiendo del pH del ambiente exterior y las fuerzas iónicas. Dicho comportamiento se presenta debido a la presencia de ciertos enlaces, como el éster, acetales, amida, entre otros y grupos funcionales, tales como: el carboxilo y el amino, los cuales se pueden deformar a través de la escisión de los enlaces químicos, generando una liberación del principio activo en caso de estar cargado y, en caso de no estarlo, solo provocaría una disociación de los grupos amino y carboxilo, causando una modificación en el grado de hinchamiento. Además, la sensibilidad al pH ha sido constantemente estudiada para la liberación de fármacos debido a que el microambiente tumoral se caracteriza por un bajo nivel de oxígeno y pH de acides leve, encontrándose en un rango aproximado de 6,5 a 6,9. Cabe añadir que la gelificación, tasa de hinchamiento y el módulo de Young junto con las cargas máximas de compresión son características y propiedades imprescindibles para determinar el comportamiento y resultados que el hidrogel pueda tener tanto fuera como dentro del organismo. La gelificación es la transición medida en unidad de tiempo del encapsulante para transformarse de una forma líquida a un gel, el cual es un material altamente viscoso que se le dificulta esparcirse en una capa delgada. Por otro lado, la tasa de hinchamiento se obtiene a menudo realizando mediciones en la capacidad de absorción en una sustancia líquida que, por lo general es agua, en un periodo de tiempo determinado por el investigador, es decir, es el incremento del peso del hidrogel como resultado de la absorción de agua. Finalmente, el módulo de Young y las cargas máximas de compresión son propiedades del hidrogel que le permiten soportar cambios y esfuerzos antes de presentar una deformación permanente, dicha condición es importante en el momento de evaluar la inyectabilidad del material. Además, las condiciones y composiciones de síntesis de los

hidrogeles como lo es la acides, la temperatura, las proporciones de los polímeros, entre otros, ayudan a determinar sus estructuras y propiedades, en donde se resalta que las propiedades mecánicas y estructurales de los hidrogeles juegan un papel fundamental en el desempeño del hidrogel en su aplicación. A su vez, la viscosidad es un parámetro para considerarse por motivos de facilidad de manipulación o para el caso de las matrices inyectables, en donde las soluciones acuosas deben de poseer propiedades de dilución por cizallamiento adecuadas, con el fin de facilitar su inyección. Cabe añadir que una mayor densidad o concentración de reticulación genera una mayor integridad del hidrogel; sin embargo, esto genera que la porosidad del material se vea reducido, afectando la durabilidad, permeabilidad y resistencia del material. Finalmente, los hidrogeles inyectables y los no inyectables presentan ciertos elementos que los caracteriza y los divide, sin embargo, uno de los rasgos más diferenciadores son: primero, la capacidad que el primero presenta para pasar a través de una aguja y, segundo, la zona para depositar el material, es decir, los geles no inyectables son usualmente empleados para tratar quemaduras, cicatrices, recuperar tejido, entre otras, que se encuentran en la piel o dentro del cuerpo, siendo para este último caso la necesidad de intervención quirúrgica; mientras que los inyectables van destinados a zonas internas del cuerpo, en donde su aplicación se realiza sin la necesidad de cirugía y, generalmente, a través de una aguja (Giraldo Salazar, 2022).

Hidrogeles a base de almidón

El almidón se considera uno de los biopolímeros más abundantes y económicos que existen. En la naturaleza, se encuentra en forma de partículas discretas o gránulos, cuyos diámetros oscilan entre 2 y 100 μm (Soto & Oliva, 2012).

Las principales fuentes comerciales de producción de almidón son la papa, el trigo, el maíz y el arroz (Soto & Oliva, 2012).

La utilización del almidón como plástico biodegradable presenta ciertas limitaciones debido a su elevada afinidad por el agua, su procesabilidad restringida y su escasa solubilidad en disolventes orgánicos comunes. En este contexto, los almidones que han sido modificados tanto física como químicamente, y que poseen propiedades mejoradas, han cobrado una importancia creciente. Esto se debe no solo a su bajo costo y a la variedad de aplicaciones industriales, sino, ante todo, a su capacidad de biodegradabilidad. Un enfoque eficaz para la elaboración de hidrogeles a partir de polisacáridos consiste en la creación de redes híbridas, donde las cadenas de polisacáridos se entrelazan con polímeros sintéticos (Soto & Oliva, 2012).

Los hidrogeles a base de almidón ofrecen múltiples ventajas en comparación con los sintéticos. Esto se debe a que el almidón es un recurso ampliamente disponible, económico y biodegradable, además de ser renovable (Soto & Oliva, 2012).

Almidón

El almidón es, sin duda, uno de los polímeros naturales más significativos que existen, actuando como la principal fuente de energía que podemos obtener de diversas plantas. Se

encuentra presente en las semillas de cereales como el maíz, el trigo, el arroz y el sorgo; en tubérculos como la papa; en raíces como la yuca, la batata y el arrurruz; en semillas de leguminosas como los frijoles, las lentejas y los guisantes; así como en algunas frutas como las bananas, las manzanas y los tomates verdes. También se localiza en los troncos de la palma sago y en las hojas del tabaco (Aristizábal et al., 2007).

El almidón es un polisacárido que se encuentra principalmente en los granos de cereales y tubérculos, aunque también se almacena en los cloroplastos de las hojas, así como en frutas, semillas, bulbos y otros órganos de reserva de las plantas. En el caso del almidón de camote, su forma puede variar, presentándose desde granos redondeados hasta ovales y poligonales, e incluso mostrando fisuras internas en algunos de ellos. En cuanto al tamaño de los gránulos de almidón, este varía entre 3 y 40 μm (Ruiz Tuapante, 2013).

Desde el punto de vista químico, está compuesto por dos tipos de moléculas: amilosa y amilopectina. En términos generales, la amilosa representa entre el 20% y el 30% del total, mientras que el resto corresponde a la amilopectina. Sin embargo, esta proporción puede variar considerablemente dependiendo de las diferentes fuentes botánicas e incluso entre genotipos (Ruiz Tuapante, 2013).

Amilosa

El almidón es un polímero lineal que se compone de moléculas de glucosa unidas entre sí mediante enlaces glucosídicos $\alpha\text{-D-(1}\rightarrow\text{4)}$. La cantidad de unidades puede variar dependiendo del tipo de almidón, pero en general se encuentra entre mil unidades de glucosa por molécula de amilosa, adoptando una forma helicoidal. En uno de los extremos de la macromolécula, la unidad de glucosa presenta el grupo hidroxilo del carbono anomérico (α) libre, por lo que se le denomina extremo reductor. En el extremo opuesto, conocido como extremo no reductor, el hidroxilo del carbono anomérico forma parte del enlace glucosídico. (Figura 4). La abundancia de grupos hidroxilo en la amilosa otorga al polímero propiedades hidrofílicas, permitiéndole mostrar afinidad por el agua. Sin embargo, su estructura lineal provoca que los polímeros de amilosa se agrupan de forma compacta y paralela, estableciendo puentes de hidrógeno con los hidroxilos de cadenas adyacentes. Este fenómeno disminuye su afinidad por el agua. En soluciones diluidas, el tamaño de estos agregados puede aumentar significativamente, llegando a causar precipitación. En términos generales, la estructura lineal de la amilosa favorece la formación de películas resistentes. Este proceso de asociación intermolecular se conoce como retrogradación. Además, la amilosa es capaz de formar complejos insolubles con diversas moléculas orgánicas, como alcoholes alifáticos y ácidos monoglicéridos o grasos lineales. Estos complejos a menudo precipitan y cristalizan, lo que facilita su separación de la amilopectina. La amilosa también muestra afinidad por el yodo, y su estructura contiene segmentos tanto hidrofílicos como hidrofóbicos. El color del complejo resultante varía según la longitud de la cadena: presenta un tono azul cuando el grado de polimerización es superior a 40, y se encuentra en tonalidades rojas, pardas o amarillas para valores inferiores (Aristizábal et al., 2007).

Esquema de la amilosa

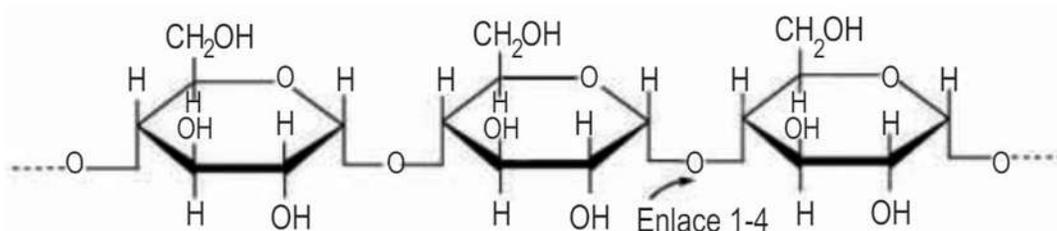


Figura 4. Esquema de la amilosa (Aristizábal et al., 2007).

Amilopectina

Es un polímero ramificado que se compone de cadenas lineales formadas por 15 a 35 moléculas de glucosa, unidas mediante enlaces α -D-(1 \rightarrow 4). Estas cadenas se enlazan entre sí a través de enlaces α -D-(1 \rightarrow 6), que dan lugar a los puntos de ramificación (Figura 5). La amilopectina presenta un 5-6% de enlaces α -D-(1 \rightarrow 6) y está compuesta por aproximadamente 100,000 moléculas de glucosa. Su gran tamaño y su naturaleza ramificada reducen la movilidad de los polímeros, lo que dificulta que se orienten de manera compacta y, por ende, limita su capacidad para formar enlaces de hidrógeno significativos. Como resultado, las soluciones acuosas de amilopectina, también conocidas como soles, se caracterizan por su claridad y estabilidad, lo que indica una resistencia considerable a la gelificación durante el almacenamiento. A diferencia de la amilosa, los soles de amilopectina no generan películas tan fuertes y flexibles, ni forman el complejo azul profundo con yodo. Aunque la amilopectina presenta estructuras lineales que pueden formar complejos, estas son cortas, lo que significa que las hélices resultantes también son de corto tamaño, permitiendo solo la inclusión de moléculas pequeñas en su interior. En este contexto, la amilopectina puede formar complejos de color rosa con el yodo, pero no interactúa con los ácidos grasos. Ambos polímeros, amilopectina y amilosa, pueden formar hélices con seis moléculas de glucosa por ciclo. En el caso de la amilopectina, los enlaces α -D-(1 \rightarrow 6) funcionan como puntos de ruptura en la formación de hélices, por lo que únicamente pueden generarse hélices cortas a partir de sus segmentos lineales. En contraste, la amilosa puede formar hélices más largas, compuestas por hasta 120 moléculas de glucosa. La proporción de amilosa en el almidón varía según su origen. Por ejemplo, almidones de maíz, trigo, papa y yuca contienen entre un 18% y un 28% de amilosa, siendo el maíz y el trigo los que se encuentran en el extremo superior del rango, mientras que la papa y la yuca se sitúan en el extremo inferior, con un contenido de amilosa que varía entre el 17% y el 22%. Tanto la estructura como la cantidad relativa de amilosa y amilopectina son esenciales para determinar las propiedades fisicoquímicas del almidón. La organización intramolecular que ocurre entre la amilosa y la amilopectina, a través de enlaces de hidrógeno entre los grupos alcohólicos, ya sea directamente o mediante moléculas de agua, da lugar a la formación de zonas cristalinas (capas densas con un alto número de ramificaciones) y amorfas (capas menos organizadas ricas en enlaces α -D-(1 \rightarrow 6)). Esto confiere al almidón una estructura semicristalina, manifestada en propiedades específicas como la aparición de un cruce en el gránulo bajo luz polarizada y en la difracción de rayos X, que revela tres tipos de espectros, permitiendo la

diferenciación de los almidones provenientes de cereales, raíces y tubérculos (Aristizábal *et al.*, 2007).

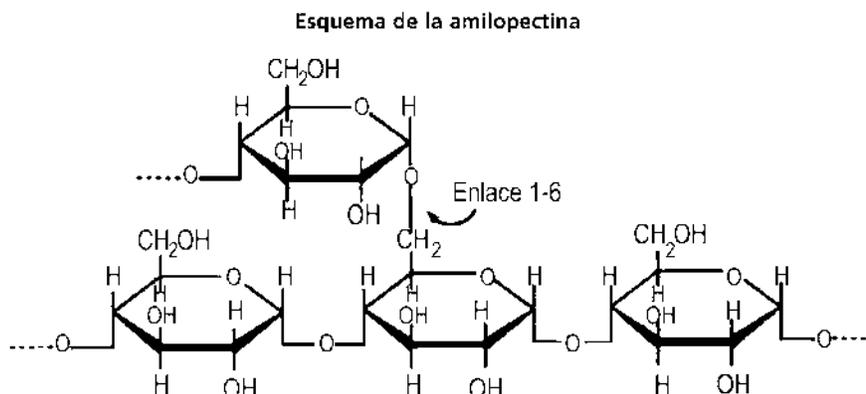


Figura 5. Esquema de amilopectina (Aristizábal *et al.*, 2007).

El contenido de amilosa en los almidones influye significativamente en su aplicación en la industria alimentaria. Por lo general, los almidones que son ricos en amilosa son preferidos para la elaboración de geles alimenticios, mientras que aquellos con bajo contenido de amilosa se utilizan como agentes espesantes en salsas. En particular, el almidón de camote presenta una variabilidad en su contenido de amilosa, que puede oscilar entre el 8,5% y alcanzar hasta el 37,4% en cultivos provenientes de países como China, Japón, India, Indonesia, Filipinas, Perú y Ghana (Ruiz Tuapante, 2013).

Ipomoea Batatas

La batata, también conocida como camote, boniato o moniato en los países de habla hispana, recibe distintas denominaciones en otros idiomas occidentales: batata doce en portugués, patate douce en francés, patata dolce en italiano, batate en alemán y sweet potato en inglés (Folquer, 1978).

Según Huamán (Huamán, 1991) la taxonomía del camote es la siguiente:

Reino: Plantae

Familia: Convolvulaceae

Tribu: Ipomoeae

Subgenero: Quamoclit

Sección: Batatas

Especie: *Ipomoea batatas* (L.) Lam.

El camote (*Ipomoea batatas* L.) es un tubérculo que se cultiva en diversas partes del mundo, alcanzando una producción global de 150 millones de toneladas (Basurto, 2015). El camote es un cultivo de fácil propagación y con bajos requerimientos nutricionales, lo que se traduce en costos de producción reducidos. Este tubérculo posee características nutricionales significativas que lo elevan a la categoría de alimento altamente nutritivo, convirtiéndose en una opción viable para países en vías de desarrollo que enfrentan problemas de escasez alimentaria. En México, el camote ha sido cultivado desde tiempos ancestrales y, en la

actualidad, se producen diversas variedades de pulpa blanca, amarilla, naranja, rosada y morada (Contreras et al., 1995).

El camote ha captado la atención en la actualidad, ya que se considera un alimento funcional debido a su excelente perfil nutricional y su bajo costo de producción en el país. Su uso en la industria alimentaria a nivel global está en constante aumento, utilizándose tanto como complemento como sustituto en la elaboración de diversos productos. Este tubérculo es una planta perenne que crece bajo tierra y presenta estructuras vegetativas comestibles con un alto valor nutritivo. El camote es rico en agua, fibra, lípidos, proteínas, grasas, almidón, azúcares, vitaminas, minerales y aminoácidos. Sin embargo, es importante tener en cuenta que su contenido nutricional puede variar según el método de cocción utilizado. Se ha investigado ampliamente el consumo de camote en relación con el tratamiento de diversas enfermedades y condiciones que afectan la salud humana. Los compuestos bioactivos presentes en este tubérculo desempeñan un papel crucial en la promoción del bienestar, al ofrecer nutrientes esenciales a la dieta, mejorar la función inmunológica, prevenir daños vasculares y cardíacos, proteger el hígado y optimizar las funciones de las células hepáticas. Además, estos compuestos ayudan a suprimir el crecimiento de células malignas, intervienen en el metabolismo de lípidos, reducen los niveles de azúcar en la sangre y disminuyen las úlceras gástricas. Varios estudios también han señalado que los antioxidantes derivados del camote son fundamentales en la prevención del envejecimiento y de enfermedades asociadas con la edad (Vidal et al., 2018).

Andamios basados en hidrogeles para tejido cartilaginoso y óseo.

Dentro de la variedad de biomateriales, los hidrogeles destacan como uno de los materiales más empleados en el ámbito biomédico. Estos se componen de una red tridimensional, generalmente polimérica, que tiene la capacidad de absorber grandes cantidades de agua. En nuestra vida cotidiana, encontramos diferentes tipos de hidrogeles, como la gelatina comestible, el aloe vera, productos cosméticos y farmacéuticos, así como materiales superabsorbentes utilizados en pañales, entre otros. La formación de hidrogeles puede seguir diversas rutas. Por un lado, existe un proceso químico en el que se generan enlaces covalentes que entrelazan la red polimérica; por otro, se puede dar un proceso físico, en el que se crean estructuras supramoleculares tridimensionales mediante fuerzas intermoleculares como enlaces de hidrógeno y uniones electrostáticas. Además, hay un enfoque que combina ambas rutas anteriormente mencionadas. Los biomateriales basados en hidrogeles son especialmente atractivos por su versatilidad en la síntesis, su diversidad de orígenes naturales, su biocompatibilidad, su bioactividad y, sobre todo, porque pueden imitar la mayoría de los tejidos del cuerpo humano. Gracias a estas características, se ha logrado utilizar diferentes tipos de hidrogeles en aplicaciones biomédicas comerciales, tales como sistemas de liberación controlada de fármacos, apósitos, lentes de contacto y cultivo celular tridimensional. En los últimos años, se han reportado investigaciones que demuestran el uso de hidrogeles en aplicaciones de ingeniería de tejidos y medicina regenerativa (ITMR) para tratar tejidos de diversas naturalezas, como el tejido cardíaco, cartilaginoso y óseo (Olate Moya, 2020).

Impresión 3D como herramienta en ITMR

En los últimos ocho años, una de las metodologías que ha ganado un notable reconocimiento es la impresión 3D de andamios para la ingeniería de tejidos. Esta herramienta versátil permite la fabricación de estructuras con una libertad de forma excepcional, lo que ha facilitado la impresión de andamios de hidrogeles con formas anatómicas como vasos sanguíneos, válvulas aórticas, huesos y cartílagos faciales (como orejas y narices), entre otras. La principal ventaja de la creación de andamios a través de la impresión 3D radica en la capacidad de obtener estructuras complejas personalizadas, adaptadas a las necesidades específicas de cada paciente, así como en el control preciso de aspectos estructurales, como el tamaño de los poros y la composición química, algo que se logra mediante la impresión 3D multimaterial. Existen diversas técnicas de impresión 3D en la ingeniería de tejidos que se seleccionan principalmente en función del material utilizado para la fabricación. Para construir el objeto tridimensional, generalmente se utiliza un diseño asistido por computadora (archivo CAD) que se crea capa por capa en el eje Z. En el ámbito específico de la ingeniería de tejidos de cartílago, se ha documentado una variedad de investigaciones que aplican la impresión 3D como herramienta para la fabricación de andamios. Entre los biomateriales más utilizados en la creación de estos andamios se encuentran termoplásticos como el PCL e hidrogeles como el alginato, colágeno y celulosa nanocristalina, entre otros polímeros. En este contexto, la técnica de impresión 3D más recurrida es la microextrusión, que en el caso de los hidrogeles requiere una rápida transición de estado fluido a sólido para lograr estructuras bien definidas y reproducibles (Olate Moya, 2020).

CAPITULO 3

METODOLOGÍA

En el capítulo 3 se revisa detalladamente la forma en la que se obtiene el almidón de *Ipomoea Batatas*, así como los materiales y equipos requeridos para la síntesis de las películas de hidrogel, aunado a todo, se realizan especificaciones de las caracterizaciones realizadas.

En la Figura 6 se muestra de forma ilustrativa el procedimiento que se siguió para la obtención del hidrogel el cual, se detalla en los siguientes pasos:

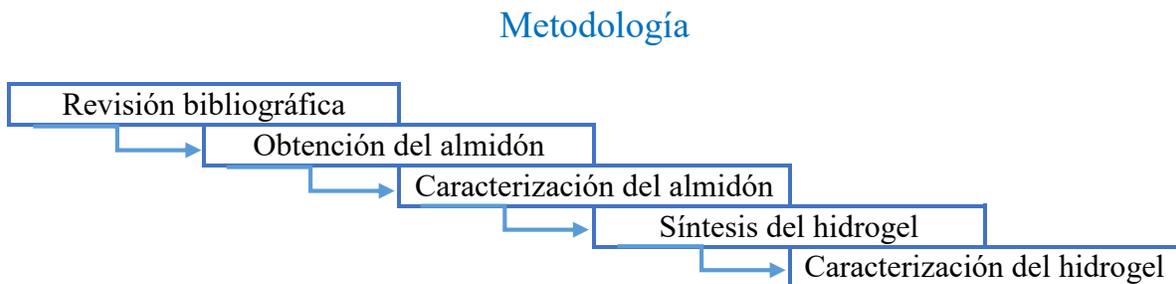


Figura 6. Diagrama de procesos de la metodología empleada para la síntesis del hidrogel.

- Revisión bibliográfica. Se realizó una revisión bibliográfica en la cual se estudiaron múltiples autores que han propuesto diversas aplicaciones del almidón al emplearlo en biomedicina o en ingeniería tisular, sin embargo, no se obtuvo evidencia de desarrollo de hidrogeles a partir de almidones de *Ipomoea Batatas*, lo que representa una ventana de oportunidad para contribuir al desarrollo tecnológico y el estado del arte en la síntesis de hidrogeles a base de almidones, y que es en gran medida el sustento de la presente tesis y la aportación primordial a la misma.
- Revisión de métodos y técnicas para la extracción del almidón de *Ipomoea Batatas*. Se realizó una investigación de los diversos métodos de extracción de almidón, mismo que se seleccionó el más idóneo basándose en las características del producto.
- Extracción del almidón de *Ipomoea Batatas*. Se realizó la extracción del almidón de *Ipomoea Batatas* de 3 especies diferentes las cuales fueron: Almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla, Almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco y Almidón de *Ipomoea Batatas* Morado; obteniendo 2 productos de almidón de cada especie empleada, dando como resultado 6 diferentes almidones.
- Preparación de las muestras para la caracterización del almidón por medio de las técnicas analíticas de Difracción de Rayos X (DRX), Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FT-IR) y Microscopia Electrónica de Barrido (MEB). Las muestras de almidones se prepararon para la caracterización mediante secado en el horno a 60°C y se almacenaron en microtubos evitando que las muestras se humedecieran.

- Caracterización del almidón de *Ipomoea Batatas*. Se caracterizaron y se interpretaron los resultados obtenidos por medio de las técnicas analíticas de Difracción de Rayos X (DRX), Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FT-IR) y Microscopia Electrónica de Barrido (MEB).
- Pautas a seguir para la síntesis del hidrogel. Se realizó una investigación de los diversos métodos de obtención de hidrogeles, mismo que se seleccionó el más idóneo basándose en las características del producto.
- Síntesis del hidrogel a base de almidón de *Ipomoea Batatas*.
- Preparación de las muestras para la caracterización del hidrogel por medio de las técnicas analíticas de Difracción de Rayos X (DRX), Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FT-IR) y Microscopia Electrónica de Barrido (MEB). Las muestras de hidrogeles se cortaron en cuadros de 1cm x 1cm y se almacenaron en microtubos evitando que las muestras se humedecieran.
- Caracterización del hidrogel de *Ipomoea Batatas*. Se caracterizaron las muestras de hidrogel por medio de las técnicas analíticas de Difracción de Rayos X (DRX), Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FT-IR) y Microscopia Electrónica de Barrido (MEB).
- Análisis de resultados. Se analizaron los resultados de los ensayos y contrastaron con los resultados de hidrogeles a base de almidones reportados en la literatura, con el propósito de determinar cualitativamente la posible viabilidad del hidrogel propuesto para ingeniería tisular.

Obtención del almidón de *Ipomoea Batatas* (Camote)

La obtención del almidón de *Ipomoea Batatas* se realizó de la siguiente manera:

Materiales y equipos:

- Agua destilada
- Agua Purificada
- *Ipomoea Batatas* (Camote)
- Papel filtro fino
- Horno de baja temperatura
- Cortador mecánico
- Mortero
- Papel aluminio
- Tamiz
- Vaso de precipitado

Procedimiento:

1. Lavar y descortezar el tubérculo como se muestra en la Figura 7.



Figura 7. Paso 1 de la obtención del almidón de *Ipomoea Batatas*. Fuente: Elaboración propia.

2. Trinchar y triturar la pulpa de la *Ipomoea Batatas*.

El trinchado se realiza cortando la batata en cubos de aproximadamente 5mm x 5mm (Figura 8), una vez obtenidos estos cubos, se vierten en un cortador mecánico junto con agua purificada y se muele hasta lograr una mezcla homogénea.

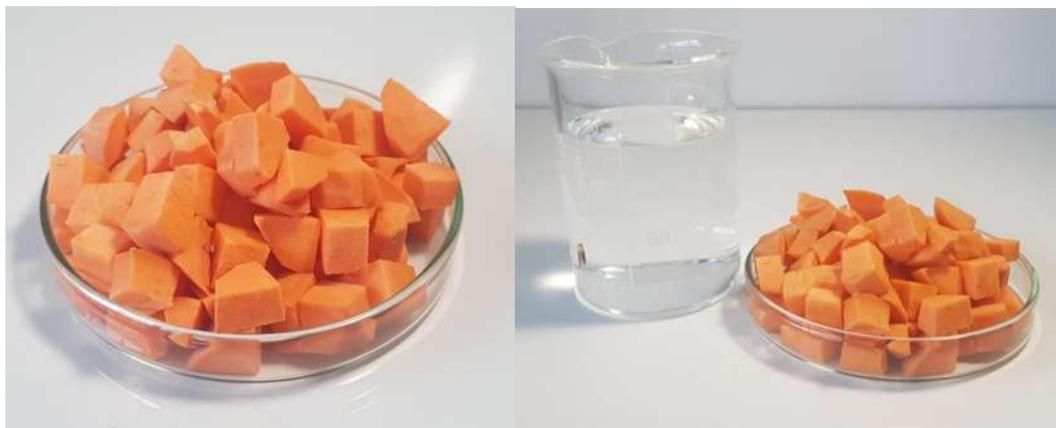


Figura 8. Paso 2 de la obtención del almidón de *Ipomoea Batatas*. Fuente: Elaboración propia.

3. Reservar el producto por un lapso de tiempo determinado.

El producto obtenido se almacena en un vaso de precipitado esterilizado como se observa en la Figura 9 y se deja reposar en refrigeración durante un lapso de entre 20 a 30 horas.



Figura 9. Paso 3 de la obtención del almidón de *Ipomoea Batatas*. Fuente: Elaboración propia.

4. Filtrar el producto obtenido.

El producto obtenido se filtra mediante papel filtro que se ha colocado sobre un embudo agregando constantemente agua destilada, igualmente almacenando el líquido sobre otro vaso de precipitado como se observa en la Figura 10.



Figura 10. Paso 4 de la obtención del almidón de *Ipomoea Batatas*. Fuente: Elaboración propia.

En la parte inferior del vaso de precipitado en el que se está vertiendo el excedente de agua pasado un tiempo se observará como se generan sedimentos blancos. Con este sedimento que se forma se vuelve a repetir este paso hasta obtener esa muestra blanquizca.



Figura 11. Detalle del paso 4 de la obtención del almidón de *Ipomoea Batata*. Fuente: Elaboración propia.

5. Deshidratar la pulpa y el sedimento obtenido en un horno por un tiempo determinado.

Los productos húmedos se colocan sobre charolas de papel aluminio dispersados de forma uniforme para su deshidratación o secado en un horno a 45 °C; se deja deshidratando por al menos 24 horas (Figura 12).



Figura 12. Paso 5 de la obtención del almidón de *Ipomoea Batatas*. Fuente: Elaboración propia.

6. Aplicar un proceso de molienda tradicional hasta obtener el tamaño de partículas deseado.

Se retira del horno el material obtenido y al notar que se ha deshidratado de la forma deseada, se procede a tritularlo primero con un molinillo manual para después tritularlo con un mortero hasta conseguir un polvo fino (Figura 13).



Figura 13. Paso 6 de la obtención del almidón de *Ipomoea Batatas*. Fuente: Elaboración propia.

7. Tamizar las partículas obtenidas para tener un tamaño estándar de partículas

El polvo fino obtenido previamente pasa a ser tamizado en un tamiz con especificaciones de abertura de 177 micrones, abertura de 0.0070 pulgadas y un número de malla de 80 (Figura 14).



Figura 14. Paso 7 de la obtención del almidón de *Ipomoea Batatas*. Fuente: Elaboración propia.

8. Al obtener este fino polvo, se prosigue a colocarlo en un recipiente y almacenarlo en un lugar seco.

***Ipomoea Batatas* que se empleó para la obtención de almidón**

Los tubérculos empleados para la obtención del almidón fueron obtenidos de productores locales, de los cuales se seleccionaron tres diferentes variedades, de cada especie se obtuvieron dos productos obteniendo los siguientes almidones: almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (P), almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (S). almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (P), almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (S), almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P) y almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S).

En la Tabla 3 se muestran las etiquetas empleadas para la identificación de los almidones.

Tabla 3. Etiquetas del Ipomoea Batatas que se ha empleado para la obtención de almidón con sus especificaciones y sus identificadores. Fuente: Elaboración propia.

	<p><i>Ipomoea Batatas</i> Mantequilla (P) Color Externo: Morado Color Interno: Salmón Identificador: <i>AIB.ManP</i></p>		<p><i>Ipomoea Batatas</i> Mantequilla (S) Color Externo: Morado Color Interno: Salmón Identificador: <i>AIB.ManS</i></p>
	<p><i>Ipomoea Batatas</i> Blanco (P) Color Externo: Morado Color Interno: Blanco Identificador: <i>AIB.BlaP</i></p>		<p><i>Ipomoea Batatas</i> Blanco (S) Color Externo: Morado Color Interno: Blanco Identificador: <i>AIB.BlaS</i></p>
	<p><i>Ipomoea Batatas</i> Morado (P) Color Externo: Morado Color Interno: Morado Identificador: <i>AIB.MorP</i></p>		<p><i>Ipomoea Batatas</i> Morado (S) Color Externo: Morado Color Interno: Morado Identificador: <i>AIB.MorS</i></p>

SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN HIDROGEL A BASE DE ALMIDÓN DE *IPOMOEA*
BATATAS PARA USO EN INGENIERÍA TISULAR

De los tubérculos seleccionados se obtuvo la Tabla 4 la cual muestra la fotografía del tubérculo empleado, la descripción del mismo y el peso inicial previo a haberse llevado a cabo el procedimiento de la obtención del almidón así como un registro del peso del producto final obtenido.

Tabla 4. Producto obtenido después de realizar el procedimiento de la obtención del almidón.
 Fuente: Elaboración propia.

	<i>Ipomoea Batatas</i>	Producto inicial (g)	Producto Obtenido (Almidón)
	<i>Ipomoea Batatas</i> Mantequilla (P) Color Externo: Morado Color Interno: Salmón Identificador: <i>AIB.ManP</i>	245 g (Pesado sin cascara)	15.93 g
	<i>Ipomoea Batatas</i> Mantequilla (S) Color Externo: Morado Color Interno: Salmón Identificador: <i>AIB.ManS</i>	330 g (Pesado sin cascara)	12.17 g
	<i>Ipomoea Batatas</i> Blanco (P) Color Externo: Morado Color Interno: Blanco Identificador: <i>AIB.BlaP</i>	440 g (Pesado sin cascara)	89.54 g
	<i>Ipomoea Batatas</i> Blanco (S) Color Externo: Morado Color Interno: Blanco Identificador: <i>AIB.BlaS</i>	440 g (Pesado sin cascara)	22.66 g
	<i>Ipomoea Batatas</i> Morado (P) Color Externo: Morado Color Interno: Morado Identificador: <i>AIB.MorP</i>	425 g (Pesado sin cascara)	66.21 g
	<i>Ipomoea Batatas</i> Morado (S) Color Externo: Morado Color Interno: Morado Identificador: <i>AIB.MorS</i>	425 g (Pesado sin cascara)	29.49 g

Preparación de las películas de hidrogel

La metodología que se utilizó para la obtención de las películas de hidrogel fue la siguiente:

Materiales y equipos:

- a) Agitador Magnético
- b) Balanza Analítica Digital
- c) Barra Magnética
- d) Bolsa de Muestra
- e) Cajas Petri
- f) Cronómetro
- g) Espátula
- h) Horno de baja temperatura
- i) Placa calentadora
- j) Soporte Universal
- k) Termómetro
- l) Vasos de precipitado con capacidad de 100 ml, 30 ml y 10 ml

Reactivos:

- a) Ácido Acético Glacial marca Jalmek con concentración al 99%
- b) Agua Destilada o Desionizada
- c) Almidón de *Ipomoea Batata*
- d) Glicerol marca Meyer

En la Figura 15 se muestran algunos de los materiales empleados en la síntesis del hidrogel.



Figura 15. Materiales empleados en la obtención del hidrogel en forma de película. Fuente: Elaboración propia.

Síntesis de las películas de hidrogel:

Para la obtención de una película de hidrogel se emplearon 0.6 g de almidón de *Ipomoea Batatas*, 8.7 g de agua desionizada, 0.5 g de glicerol y 0.2 g de ácido acético glacial.

En seguida se describe el procedimiento detallado para la síntesis del hidrogel:

1. Medir los reactivos (Figura 16)
 - 1.1. Calibrar la balanza analítica digital.
 - 1.2. Colocar sobre la balanza el vaso de precipitado con capacidad de 30 ml, tarar la balanza, medir 0.5 g de glicerol, reservar.
 - 1.3. Colocar sobre la balanza analítica el vaso de precipitado con capacidad de 100 ml, tarar la balanza, medir 8.7 g de agua destilada desionizada, reservar.
 - 1.4. Colocar sobre la balanza analítica el vaso de precipitado con capacidad de 10 ml, tarar la balanza, medir 0.6 g de almidón de *Ipomoea Batatas*, reservar.
 - 1.5. Colocar sobre la balanza analítica el vaso de precipitado con capacidad de 10 ml, tarar la balanza, medir 0.2 g de ácido acético glacial, reservar.



Figura 16. Medición de los reactivos necesarios para la obtención de las películas de hidrogel.

Fuente: Elaboración propia.

2. En el vaso de precipitado con capacidad de 30 ml el cual contiene el glicerol, verter el almidón de *Ipomoea Batatas*, el ácido acético glacial y el agua desionizada que previamente fueron medidos. Agregar un agitador magnético al vaso de precipitado que contiene los reactivos (Figura 17).



Figura 17. Mezcla de los reactivos para la obtención de las películas de hidrogel. Fuente: Elaboración propia.

3. El vaso de precipitado de 30 ml en el cual contiene todos los reactivos, sumergirlo en otro vaso de precipitado con capacidad de 100 ml que contenga aproximadamente 50 ml de agua esto con el fin de someterlo a calentamiento por baño María. Con la ayuda de un soporte universal posicionar este vaso en el centro de una placa con agitador magnético como se muestra en la Figura 18.



Figura 18. Posicionamiento de la mezcla que será sometida a baño María. Fuente: Elaboración propia.

- Colocar un termómetro sobre la mezcla, encender la placa calentadora y aumentar la temperatura y la agitación, mantenerse en observación hasta que se haya llegado a la temperatura que se considere ideal (70°-75°) se apaga la parrilla (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).



Figura 19. Aumento de temperatura y mezcla de los reactivos mientras se observa y se toma el tiempo. Fuente: Elaboración propia.

- Vaciar la solución obtenida sobre una caja Petri la cual debe distribuirse de manera homogénea y con ayuda de la barra magnética se retira el agitador magnético (Figura 20).



Figura 20. Vaciado de la solución sobre la caja Petri y extracción del agitador magnético. Fuente: Elaboración propia.

- Colocar la caja Petri con la mezcla en el horno a 45 °C previamente precalentado.
- Una vez pasadas 24 horas retirar del horno, separar con cuidado la película bioplástica de hidrogel de la caja Petri, almacenarla en una bolsa de muestra y etiquetarla.

Desarrollo experimental de las películas de hidrogel

El desarrollo de la experimentación se realizó en diversos bloques los cuales fueron reportados como tablas obteniendo de cada tabla diferentes películas de hidrogel, se estandarizó un proceso de síntesis para que la experimentación sea replicable y las películas de hidrogel con apariencia y textura deseada fueron seleccionadas para su caracterización por medio de las técnicas analíticas de DRX, FT-IR y MEB.

A continuación, se muestra la Tabla 5 donde se presenta brevemente los resultados obtenidos al llevar a cabo repetidas veces la preparación de las películas de hidrogel, esta tabla indica la cantidad empleada de almidón, de glicerol, de ácido acético y de agua, así como la temperatura a la que fue sometida, mostrando de la misma manera la imagen del producto obtenido. En dicha tabla se hace referencia a la obtención de 10 g de solución preparada (X1) y la cantidad ideal de cada reactivo, al igual que a la preparación de 15 g de solución (X1.5). Esta tabla muestra los primeros experimentos realizados para obtener las películas de hidrogel en los cuales se experimentó variando la composición de las películas, el tiempo y temperatura de la mezcla de la solución obteniendo así pautas para continuar mejorando el proceso de síntesis.

Tabla 5. Experimentación inicial de las películas de hidrogel. Fuente: Elaboración propia.

Eti- queta	Almidón (g)	Glice rol (g)	Ácid o Acéti co (g)	Agua (g)	Tempe ratura (°C)	Observaciones	
X1	0.6	0.5	0.2	8.7			
0.1	AIB.Mor P 0.6052	0.502 5	0.200 62	8.6944 + ≈3	83°	Al no tener un control de la cantidad de agua esta muestra queda descartada, sin embargo, muestra una excelente apariencia y muy buena consistencia. (No se tuvo control del agua debido a que durante el proceso de síntesis se le agrego agua de manera no prevista).	
0.2	AIB.BlaP 0.6065	0.508 1	0.205 4	8.7061	58°	Durante el proceso de síntesis se perdió gran cantidad de glicerol no permitiendo llegar a la temperatura de gelatinización, por lo que no se logró la	

SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN HIDROGEL A BASE DE ALMIDÓN DE *IPOMOEA* BATATAS PARA USO EN INGENIERÍA TISULAR

						polimerización dando un aspecto de polvo.	
0.3	AIB.BlaP 0.6028	0.506 4	0.205 0	11.704 8	83°	Se repitió la película anterior sin pérdida de glicerol. Muy buena consistencia, película muy delgada con excelente apariencia.	
0.4	AIB.BlaS 0.6032	0.508 8	0.202 6	8.7021	73.1°	Al momento del vaciado del material estaba tan viscoso que no se homogenizó el espesor de la película.	
X 1.5	0.9	0.75	0.3	13.05			
	AIB.Mor P 0.9085	0.750 0	0.300 8	13.056 2	75°	Buena consistencia Apariencia agradable Flexible Elástica Transparente	
	AIB.Mor S 0.9043	0.755 6	0.301 9	13.063 2	75°	Buena consistencia Apariencia agradable Flexible Elástica Transparente	
	AIB.BlaP 0.9088	0.758 1	0.305 2	13.052 1	75°	Buena consistencia Apariencia agradable Flexible Elástica Transparente	
	AIB.BlaS 0.9045	0.754 1	0.308 1	13.054 2	75°	Buena consistencia Apariencia agradable Flexible Elástica Transparente	

SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN HIDROGEL A BASE DE ALMIDÓN DE *IPOMOEA* BATATAS PARA USO EN INGENIERÍA TISULAR

AIB.Man P 0.9070	0.757 0	0.300 1	13.057 9	75°	Buena consistencia Apariencia agradable Flexible	
AIB.Man S 0.9031	0.759 5	0.304 7	13.051 0	75°	Buena consistencia Apariencia agradable Flexible Elástica Transparente	
AIB.Ama P 0.9021	0.754 5	0.302 7	13.056 5	75°	Al momento de despegar la película esta no se desprendió de forma ideal fragmentándose.	
AIB.Ama P 0.9043	0.751 3	0.306 5	13.057 7	75°	Se repitió el experimento anterior y los resultados se repetieron.	
AIB.BlaS 0.9008	0.750 5	0.301 4	13.051 1	70°	Se optó por repetir el experimento con este tipo de almidón, pero con menor temperatura y una caja de Petri de menor dimensión obteniendo un bioplástico con diferentes características a las películas previamente obtenidas.	

Al concluir la experimentación anterior, se obtuvieron varias películas con apariencia y textura a deseada, lo cual indicó que se había obtenido la estandarización de un proceso de síntesis de películas de hidrogel a base de *Ipomoea Batatas* de diversas especies.

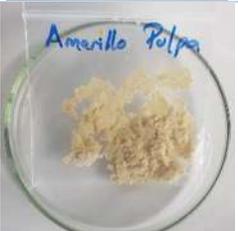
El siguiente bloque de experimentación se realizó en base a la tabla anterior, se eligió las concentraciones, tiempo y temperatura con las que se obtuvieron películas de hidrogel con apariencia y textura deseadas, las cuales, posteriormente fueron caracterizadas por medio de las técnicas analíticas de DRX, FT-IR y MEB.

A continuación, se muestra la Tabla 6 donde se presenta brevemente los resultados obtenidos al llevar a cabo repetidas veces la preparación de las películas de hidrogel, esta tabla indica la cantidad empleada de almidón, de glicerol, de ácido acético y de agua, así como la temperatura a la que fue sometida, el pH de la solución antes de ingresar al horno, mostrando de la misma manera la imagen del producto obtenido además de que se indica la técnica por la que fueron caracterizadas las películas. En dicha tabla se hace referencia a la obtención de 15 g de solución preparada (X1.5) y la cantidad ideal de cada reactivo.

Tabla 6. Experimentación de las películas de hidrogel que se caracterizaron. Fuente: Elaboración propia.

Eti- queta	Almidón (g)	Gli- cer ol (gr)	Ácido Acético (gr)	Agua (gr)	Tempe- - ratura	PH 2	Peso 2 (gr) (Al salir del horno)	Foto	Estudios Realizados
X 1.5	0.9	0.7 5	0.3	13.0 5					
P.Man	AIB.Man P 0.9021	0.7 528	0.3072	13.0 4	75°C	2-3	1.5090		MEB FT-IR DRX
A.Man	AIB.Man S 0.9074	0.7 594	0.3059	13.0 48	70°C	2-3	1.5724		MEB FT-IR DRX

SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN HIDROGEL A BASE DE ALMIDÓN DE *IPOMOEA*
 BATATAS PARA USO EN INGENIERÍA TISULAR

P.Bla	AIB.Bla P 0.9030	0.7 561	0.3062	13.0 58	70°C	2-3	1.5723		MEB FT-IR DRX
A.Bla	AIB.Bla S 0.9070	0.7 567	0.3082	13.0 59	74°C máx	2-3	1.5950		MEB FT-IR DRX
P.Mor	AIB.Mor P 0.9090	0.7 535	0.3030	13.0 7	75°C max	2-3	1.4609		MEB FT-IR DRX
A.Mor	AIB.Mor S 0.9064	0.7 561	0.3039	13.0 6	73°C max	2-3	1.5514		MEB FT-IR DRX
P.Ama	AIB.Ama aP 0.9007	0.7 504	0.3003	13.0 60	75°C max	2-3	1.6150		
P.ManRep	AIB.Man P 0.9046	0.7 568	0.3061	13.0 60	73°C	2-3	1.5870		

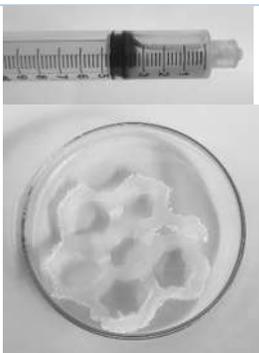
Los resultados de la tabla anterior fueron muy significativos debido a que se logró replicar el procedimiento de forma homogénea y deseada por lo cual se puede llegar a la conclusión de que se logró estandarizar el proceso de síntesis de las películas de hidrogel.

Una vez estandarizado el proceso de síntesis del hidrogel, el siguiente bloque de experimentación consistió en realizar experimentación adicional del comportamiento del hidrogel posterior a la obtención de la solución y previo a ser sometido al horno, esto, con la finalidad de observar si es posible la extrusión en jeringas del hidrogel y si en un futuro se

podrían realizar pruebas de inyectabilidad y almacenaje del hidrogel en estado líquido, se realizó también la modificación de las cantidades de los reactivos para obtener un pH menos ácido que el anteriormente reportado, además de la observación del comportamiento de las películas de hidrogel al ser sometidas a un tratamiento térmico.

La Tabla 7 muestra brevemente los resultados obtenidos al realizar diversas modificaciones en la concentración de los reactivos en la preparación de las películas de hidrogel, esta tabla indica la cantidad empleada de almidón, de glicerol, de ácido acético y de agua, así como la temperatura a la que fue sometida, el pH de la solución, mostrando de la misma manera la imagen del producto. Además de experimentar con la solución líquida para su posible extrusión, experimentando de la misma manera con diferentes pos procesamientos. En dicha tabla se hace referencia a la obtención de 15 g de solución preparada (X1.5) y la cantidad ideal de cada reactivo.

Tabla 7. Experimentación de extrusión de la solución de hidrogel y experimentación con pos procesamiento de las películas de hidrogel. Fuente: Elaboración propia.

Eti- queta	Procedimiento	Almidón (g)	Glicerol (g)	Ácido Acético (g)	Agua (gr)	Tempe- ratura	PH 2	Peso 2 (g) (Al salir del horno)	Foto
X 1.5		0.9	0.75	0.3	13.05				
A.Bla. SinA A	Una parte de solución se llevó a reposar al horno como habitualmente. La otra parte de la solución, se adicionó con 50gr de agua destilada fría obteniendo un resultado no favorecedor mismo que se descartó.	AIB.BI aS 0.9090	0.7545	-	13.07 28	70°C	5-6		
A.Mo r.JI	Una parte de la solución se colocó en una jeringa y se fue dibujando un patrón de panal de abeja colocando 5 capas de la solución y en el intermedio dejando reposar por una hora en el horno; la otra parte de la solución se almacenó en otra jeringa	AIB.M orS 0.9055	0.7532	0.3012	13.07 0	70°C	2-3	Patrón 0.630 2	

SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN HIDROGEL A BASE DE ALMIDÓN DE *IPOMOEA* BATATAS PARA USO EN INGENIERÍA TISULAR

<p>A.Bla. 1/2</p>	<p>Se realizó el procedimiento habitual con el doble de cantidad de reactivos y la solución final se dividió equitativamente en 2 cajas Petri del mismo tamaño; una de las películas se almacenó como habitualmente y la otra se le adicionó 30gr de agua destilada a 70°C y se dejó reposando en el horno por 72 horas a 50°C.</p>	<p>AIB.BI aS 1.8014</p>	<p>1.5091</p>	<p>0.6086</p>	<p>26.12</p>	<p>70°C</p>	<p>2-3</p>	<p>Sin PP 1.552 8 Con PP 1.675 0</p>	
<p>A.Bla. 2/2</p>	<p>Se realizó el procedimiento habitual con el doble de cantidad de reactivos y la solución final se dividió equitativamente en 3 cajas Petri del mismo tamaño; una de las películas se almacenó como habitualmente y la otra se le adicionó 20gr de agua destilada a 70°C y se dejó reposando en el horno por 72 horas a 50°C; la tercera parte se adicionó con 8.3gr de agua destilada a 70°C, se agitó la solución hasta obtener una mezcla homogénea y se dejó reposando en el horno por 24 horas a 50°C para después ser almacenada en una jeringa.</p>	<p>AIB.BI aS 1.8022</p>	<p>1.5013</p>	<p>0.6048</p>	<p>26.10 45</p>	<p>70°C</p>	<p>2-3</p>	<p>Sin PP 1.101 2 Con PP 0.894 0</p>	
<p>Dob Gli Sin AA</p>	<p>Se realizaron pruebas con doble cantidad de glicerol y sin ácido acético</p>	<p>AIB.BI aS 0.9090</p>	<p>1.5060</p>	<p>---</p>	<p>13.06</p>	<p>70°C</p>	<p>5-6</p>	<p>2.157 5</p>	

Resultados de la experimentación con Alcohol Polivinílico Técnico (APT)

Adicionalmente a los resultados obtenidos se optó por implementar como reactivo el Alcohol Polivinílico Técnico (APT) debido a que diversos autores han reportado un comportamiento favorecedor al implementarlo a la síntesis de diversos hidrogeles.

La segunda parte de la experimentación de la síntesis del hidrogel se llevó a cabo adicionando a la solución Alcohol Polivinílico Técnico (APT).

En la Tabla 8 muestra cómo se sustituyó el glicerol por el APT y en los experimentos sucesivos como se adicionó el APT al llegar a determinada temperatura; se muestra brevemente los resultados obtenidos al realizar diversas modificaciones en la concentración de los reactivos en la preparación de las películas de hidrogel, esta tabla indica la cantidad empleada de almidón, de glicerol, de ácido acético y de agua, así como la temperatura a la que fue sometida, el pH de la solución, mostrando de la misma manera la imagen del producto. En dicha tabla se hace referencia a la obtención de 15 g de solución preparada (X1.5) y la cantidad ideal de cada reactivo.

Tabla 8. Experimentación inicial de síntesis de películas de hidrogel adicionando APT.

Eti- queta	Procedimie nto	Almid ón (gr)	A P T	Glicerol (gr)	Ácido Acético (gr)	Agua (gr)	Tempe - ratura	PH 2	Peso 2 (gr) (Al salir del horno)	Obser vacion es	Foto
<i>X 1.5</i>		<i>0.9</i>		<i>0.75</i>	<i>0.3</i>	<i>13.0 5</i>					
PM.Si nGli. APT0 .75	El procedimien to se realizó sustituyendo el glicerol por el APT.	AIB. MorP 0.909 0	0 . 7 5 2 5	---	0.3082	13.05 00	70°C	2-3	1.519 0	Al no tener una mezcla homogé nea, gran porcenta je del APT no se disolvió.	
AM.S inGli. APT0 .75	El procedimien to se realizó sustituyendo el glicerol por el APT.	AIB. MorS 0.906 0	0 . 7 5 1 3	---	0.3059	13.04 93	69°C	2-3	1.310 5	La película quedó más rígida de lo habitual	
PM.A PT0.5	El procedimien to se realizó como habitualmen te; al llegar a los 50°C se adicionó con el APT	AIB. MorP 0.903 0	0 . 5 0 3 8	0.7553	0.3050 7	13.05 07	74.6°C	2-3	1.727 6	Rígida Frágil	

SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN HIDROGEL A BASE DE ALMIDÓN DE *IPOMOEA* BATATAS PARA USO EN INGENIERÍA TISULAR

AM.A PT0.4	El procedimiento se realizó como habitualmente; al llegar a los 55°C se adicionó con el APT	AIB. MorS 0.909 0	0 . 4 0 4 0	0.7580	0.3072	13.05 50	74°C	2-3	1.585 0	Parte del alcohol se quedó en el termómetro	
-----------------------	---	-------------------------	----------------------------	--------	--------	-------------	------	-----	------------	---	---

En la tabla anterior se observó que en ninguno de los casos se logró una homogeneidad en la solución, esto debido a que fue remplazado el glicerol por el APT, obteniendo así películas rígidas y frágiles por lo cual se optó por modificar el proceso.

Experimentación con Alcohol Polivinílico adicionándolo a la solución al llegar a los 60°C

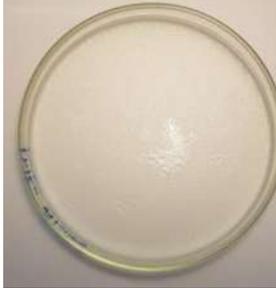
Para el siguiente bloque se repitió el procedimiento que previamente ya se había estandarizado (el cual se muestra en la Tabla 6) adicionando a la solución el APT una vez alcanzada la temperatura de 60°.

En la tabla 10 se muestran brevemente los resultados obtenidos al adicionar el APT al llegar a la temperatura de 60°C en la preparación de las películas de hidrogel, esta tabla indica la cantidad empleada de almidón, de glicerol, de ácido acético y de agua, así como la temperatura a la que fue sometida, el pH de la solución, mostrando de la misma manera la imagen del producto. En dicha tabla se hace referencia a la obtención de 15 gr de solución preparada (X1.5) y la cantidad ideal de cada reactivo.

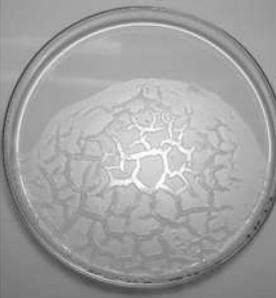
Tabla 9. Experimentación con APT adicionándolo a la solución al alcanzar los 60°C. Fuente: Elaboración propia.

Etiqueta	Almidón (gr)	APT	Glicerol (gr)	Ácido Acético (gr)	Agua (gr)	Temperatura	PH 2	Peso 2 (gr) (Al salir del horno)	Foto
<i>X 1.5</i>	<i>0.9</i>	<i>0.375</i>	<i>0.75</i>	<i>0.3</i>	<i>13.00</i>				
	AIB.M orP 0.9090	0.7522	0.7563	---	13.058 0	72°C	4-5	1.7521	

SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN HIDROGEL A BASE DE ALMIDÓN DE *IPOMOEA* BATATAS PARA USO EN INGENIERÍA TISULAR

Al.Mor. Glicerol- APT0.5- H2O	AIB.M orS 0.9086	0.5065	0.7548	---	13.053 5	72°C	4-5	1.6960	
	AIB.M anP 0.9028	0.3813	0.7503	---	13.008 7	72°C	4-5	1.4030	
	AIB.M anS 0.9084	0.3777	0.7577	---	13.011 5	72°C	4-5	1.5495	
	AIB.BI aP 0.9044	0.375	0.7519	---	13.000	73°C	4-5	1.8105	
	AIB.BI aS 0.9076	0.3757	0.7548	---	13.003 8	72°C	4-5	1.6679	

SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN HIDROGEL A BASE DE ALMIDÓN DE *IPOMOEA* BATATAS PARA USO EN INGENIERÍA TISULAR

AIB.M orP 0.9090	0.3778	0.7587	---	13.005 0	74°C	4-5	1.7573	
AIB.M orS 0.9054	0.381	0.7533	---	13.009 9	73°C	4-5	1.9655	
AIB.A maP 0.9045	0.3743	0.7590	---	13.005 3	76°C	4-5	1.7087	
AIB.BI aS 0.9055	0.3760	0.7590	0.1500	13.006 1	72°C	3-4	1.3910	
AIB.BI aS 0.9080	0.3757	0.7549	0.3099	13.007 1	72°C	2-3	1.6535	

En la tabla anterior se observa que el resultado ha mejorado, sin embargo, no se lograron obtener películas con apariencia deseable por lo que se optó por modificar el proceso de síntesis del hidrogel.

Experimentación con Alcohol Poli vinílico Técnico realizando el procedimiento en dos soluciones

Para mejorar los resultados obtenidos en las tablas anteriores, se optó por modificar el proceso de síntesis del hidrogel, se eligió realizar por separado la solución de los reactivos base y la solución del APT, como se muestra a continuación:

Solución 1: Almidón, glicerina y agua; no se realizaron modificaciones en el procedimiento que se trabajó anteriormente (Tabla 6)

Solución 2: Alcohol Poli vinílico Técnico y Agua

La solución 1 se realizó mediante el procedimiento estandarizado de las películas de hidrogel.

La solución 2 se elevó la temperatura del agua hasta llegar a los 80° y se adicionó el APT.

Después se adicionó la mezcla 2 a la mezcla 1 para formar una solución homogénea.

En la Tabla 10 se muestran brevemente los resultados obtenidos al mezclar las 2 soluciones, esta tabla indica la cantidad empleada de almidón, de glicerol, de ácido acético y de agua, así como la temperatura a la que fue sometida, la cantidad de APT y la cantidad de agua en la que se disolvió el APT, además del el pH de la solución, mostrando de la misma manera la imagen del producto. En dicha tabla se hace referencia a la obtención de 15 g de solución preparada (X1.5) y la cantidad ideal de cada reactivo.

Tabla 10. Experimentación con APT realizando el procedimiento en dos soluciones. Fuente: Elaboración propia.

Eti- que- ta	Agu a para disol ver el APT	APT	Temp e- ratur a M1	Almidó n (g)	Glicer ol (g)	Agu a (g)	Tempe- ratura M2	P H 2	Peso 2 (g) (Al salir del horno)	Observaciones	Foto
X 1.5				0.9	0.75						
	5.89 00	0.50 27	80°	AIB.M orS 0.9077	0.7557	8.00 91	78°		1.19 94	Gran cantidad del APT se quedó en el segundo vaso de precipitado	
	10.0 059	0.75 49	80°	AIB.M orS 0.9048	0.7530	8.00 90	70°		1.63 37	Gran cantidad del APT se quedó en el segundo vaso de precipitado	

SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN HIDROGEL A BASE DE ALMIDÓN DE *IPOMOEA* BATATAS PARA USO EN INGENIERÍA TISULAR

X3				1.8	1.5						
	15.2 300	1.50 65	80°	AIB.BI aP 1.8035	1.5045	10.0 111	70°		3.29 53	Gran cantidad del APT se quedó en el segundo vaso de precipitado	
	15.2 08	0.90 40	80°	AIB.BI aS 1.8022	1.5020	16.0 68	70°			Gran cantidad del APT se quedó en el segundo vaso de precipitado CONTAMINACIÓN POR POSIBLE BACTERIA	
	15.2 200	0.90 56	80°	AIB.BI aP 1.8058	1.5052	16.0 538	70°		3.68 28	Gran cantidad del APT se quedó en el segundo vaso de precipitado	

En la tabla anterior se logró observar como si se mejoró la apariencia de las películas, pero no lo logró obtener una apariencia y consistencia deseada.

Para las siguientes películas se modificó el procedimiento como se muestra a continuación:

La solución 1 se realizó mediante el procedimiento estandarizado de las PB (Tabla 6)

La solución 2 se comenzó la agitación del agua a temperatura ambiente y se fue adicionando poco a poco el APT, posteriormente se fue aumentando la temperatura hasta llegar a los 80° o más

Después se adicionó la solución 2 a la solución 1 para formar una solución homogénea.

En la Tabla 11 se muestran brevemente los resultados obtenidos al mezclar las 2 soluciones, esta tabla indica la cantidad empleada de almidón, de glicerol, de ácido acético y de agua, así como la temperatura a la que fue sometida, la cantidad de APT y la cantidad de agua en la que se disolvió el APT, además del el pH de la solución, mostrando de la misma manera la imagen del producto. En dicha tabla se hace referencia a la obtención de 30 gr de solución preparada (X3) y la cantidad ideal de cada reactivo.

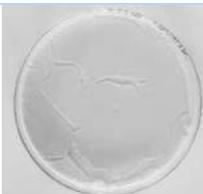
SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN HIDROGEL A BASE DE ALMIDÓN DE *IPOMOEA* BATATAS PARA USO EN INGENIERÍA TISULAR

Tabla 11. Experimentación con APT realizando el procedimiento en dos soluciones. Parte 2.

Fuente: Elaboración propia.

Eti- que- ta	Agua para disolv er el APT	APT	Temp e- Ratur a M1	Almidó n (gr)	Glicer ol (gr)	Agua (gr)	Tempe- Ratura M2	PH 2	Peso 2 (gr) (Al salir del horno)	Observ aciones	Foto
X 3	16.5	1.2 (4%)	80°	1.8	1.5	12	70°				
	17.006 3	1.20 90	80°	AIB.M orP 1.8089	1.5024	9.011	70°	5-6	3.8179		
	15.003 7	1.20 68	80°	AIB.M orS 1.8090	1.5005	10.52 20	70°	5-6	3.9970		
	16.502 4	1.20 18	85°	AIB.M anP 1.8099	1.5030	12.00 19	70°	5-6	3.4793		
	16.509 0	1.20 90	88°	AIB.M anS 1.8004	1.5036	12.01 30	70°	5-6	3.4662		
	16.506 5	1.20 61	83°	AIB.A maP 1.8065	1.5093	12.01 90	70°	5-6	3.3626		
	16.538 6	1.20 35	85°	AIB.BI aP 1.8098	1.5040	12.01 76	70°	5-6	3.9310		

SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN HIDROGEL A BASE DE ALMIDÓN DE *IPOMOEA* BATATAS PARA USO EN INGENIERÍA TISULAR

16.503 2	1.20 49	80°	AIB.BI aS 1.8048	1.5000	12.06 79	70°	5-6	3.8560		
25.519 8	1.20 57	68° max	AIB.M orS 1.8095	1.5080	-----	-----	5-6		Una Mezcla No homogé nea	
16.532 9	1.20 42	80°	AIB.BI aP 1.8051	1.5069	12.02 39	70°	5-6		5 Cajas más pequeña s MEB DRX FT-IR	
16.512 9	1.20 21	80°	AIB.M anP 1.8060	1.5000	12.01 86	70°	5-6		5 Cajas más pequeña s	
16.500 2	1.20 27	80°	AIB.M orP 1.80064	1.5029	15.02 9	70°	5-6		5 Cajas más pequeña s MEB DRX FT-IR	

En la tabla anterior se observa que se logró obtener películas de hidrogel con consistencia y apariencia deseada, observando también que se pueden realizar ligeros cambios en el procedimiento para mejorar los resultados.

Para la obtención de las siguientes películas se modificó el procedimiento como se muestra a continuación:

La solución 1 se realizó mediante el procedimiento estandarizado para la obtención de las películas de hidrogel.

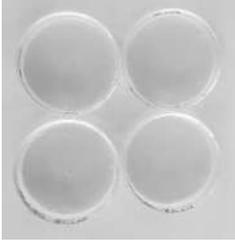
La solución 2 se comenzó la agitación del agua a temperatura ambiente y se fue adicionando poco a poco el APT, posteriormente se fue aumentando la temperatura hasta llegar a los 80° o más.

Después se adicionó la solución 2 a la solución 1 para formar una solución homogénea.

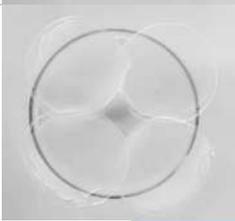
SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN HIDROGEL A BASE DE ALMIDÓN DE *IPOMOEA* BATATAS PARA USO EN INGENIERÍA TISULAR

En la Tabla 12 se muestran brevemente los resultados obtenidos al mezclar las 2 soluciones, esta tabla indica la cantidad empleada de almidón, de glicerol, de ácido acético y de agua, así como la temperatura a la que fue sometida, la cantidad de APT y la cantidad de agua en la que se disolvió el APT, además del el pH de la solución, mostrando de la misma manera la imagen del producto. En dicha tabla se hace referencia a la obtención de 30 g de solución preparada (X3) y la cantidad ideal de cada reactivo.

Tabla 12. Experimentación con APT realizando el procedimiento en dos soluciones. Parte 3.
Fuente: Elaboración propia.

Eti- que- ta	Agua para dissolv er el APT	APT	Temp e- ratura	Almidó n (g)	Glicer ol (g)	Agua (g)	Tempe- ratura (°C)	PH 2	Peso 2 (gr) (Al salir del horno)	Observ aciones	Foto
X 3	16.5	1.2 (4%)	80°	1.8	1.5	12	70°				
	16.5028	1.2031	80°	AIB.M orS 1.8035	1.5090	12.078	70°	5-6		Bolsa y Jeringa	
	16.5032	1.2004	80°	AIB.BI aP 1.8059	1.5033	12.0011	70°	5-6	4.2341	3 Cajas Petri pequeña s	
	16.5074	1.2084	80°	AIB.BI aS 1.8029	1.5022	12.0103	70°	5-6	4.2694	4 Cajas Petri Pequeña s DRX FT-IR	
	16.5046	1.2006	80°	AIB.M orP 1.8045	1.5090	12.0202	70°	5-6	4.2857	4 Cajas Petri Pequeña s	
	16.5084	1.2020	80°	AIB.M orS 1.8090	1.5019	12.072	70°	5-6	3.9712	4 Cajas Petri Pequeña s DRX FT-IR	

SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN HIDROGEL A BASE DE ALMIDÓN DE *IPOMOEA* BATATAS PARA USO EN INGENIERÍA TISULAR

16.5025	1.2038	80°	AIB.BI aP 1.8000	1.5084	12.0020	70°	5-6	4.2331	4 Cajas Petri Pequeñas	
16.5060	1.2011	80°	AIB.M orS 1.8045	1.5008	12.0321	70°	5-6	4.1240	4 Cajas Petri Pequeñas	
16.5155	1.2013	80°	AIB.Ma nP 1.8072	1.5090	12.0183	70°	5-6	3.7687	4 Cajas Petri Pequeñas	
16.5384	1.2085	80°	AIB.M orS 1.8020	1.5061	12.0232	70°	5-6	4.1261	4 Cajas Petri Pequeñas	
16.5029	1.2025	80°	AIB.Ma nS 1.8042	1.5018	12.0201	70°	5-6	3.9078	4 Cajas Petri Pequeñas	

En la tabla anterior se logra observar que se logró estandarizar un procedimiento para la síntesis de películas de hidrogel a base de almidón adicionándoles APT; se obtuvieron películas de hidrogel homogéneas con textura y apariencia deseadas, flexibles, transparentes elásticas y con pH no muy ácido por cual, se da por concluida la parte experimental.

Caracterización por medio de la técnica analítica de Difracción de Rayos X (DRX)

La Difracción de Rayos X (DRX) es una de las técnicas más poderosas y ampliamente utilizadas para el análisis estructural de cristales. Su eficacia se debe a que actúa como una "sonda" electromagnética de la materia, utilizando longitudes de onda ($\lambda \sim 1.5 \text{ \AA}$) que son comparables al espaciado interplanar de los sólidos, que suelen estar en el rango de unos pocos angstroms. Gracias a que los fotones son partículas sin masa y sin carga, su interacción con la materia es "suave", lo que convierte a la DRX en una técnica de caracterización no destructiva. Otra ventaja significativa es que no requiere un proceso específico de preparación de muestras, lo que la hace aún más accesible. A través de la DRX, es posible obtener información valiosa sobre los parámetros estructurales y la calidad cristalina de los materiales analizados (Mazuelas Esteban, 2002).

La Difracción de Rayos X (DRX) se emplea para analizar la composición de suelos y para identificar diversos tipos de materiales, incluyendo minerales, aleaciones, metales, así como sustancias catalíticas, ferroeléctricas y luminiscentes, entre otros. Este método de análisis ha encontrado un lugar destacado en el estudio de materiales en el ámbito de las nanociencias. La información proporcionada por un difractograma es fundamental, ya que permite determinar tanto la estructura cristalina como la composición de un material, e incluso se pueden calcular los tamaños de los granos a partir de él. El difractograma se compone de reflejos (picos) que corresponden a las distancias a nivel nanométrico entre familias de planos atómicos (Aparicio Ceja & Carbajal Arizaga, 2010).

Una de las aplicaciones de la Difracción de Rayos X (DRX) en el ámbito de las nanociencias es la determinación de las estructuras de nuevos compuestos a partir de sus patrones de difracción. Esto permite asociar dichas estructuras con las propiedades del compuesto. Asimismo, una aplicación habitual de esta técnica es la identificación de la composición de una muestra mediante su estructura cristalina. Este proceso es común cuando se busca preparar un compuesto conocido, pero utilizando métodos novedosos que pueden ser más económicos, ofrecer un mayor rendimiento o ser menos tóxicos (Aparicio Ceja & Carbajal Arizaga, 2010).

La identificación se basa en el perfil de difracción de rayos X, que es característico de cada compuesto, ya sea natural o sintético, y se asemeja a una huella digital. Los materiales se comparan con la base de datos del International Centre for Diffraction Data, donde se registran las condiciones del análisis, así como los perfiles de difracción de polvos, las distancias interplanares, las intensidades relativas y los índices de Miller, entre otros aspectos (Aparicio Ceja & Carbajal Arizaga, 2010).

Los tipos de información que se pueden obtener de un difractograma incluyen: (a) la geometría y dimensiones de la celda, las cuales se determinan a partir de la posición de las reflexiones; (b) la distribución de los átomos dentro de la celda unitaria y las proporciones de los compuestos en el caso de mezclas, que se estiman considerando la intensidad de las reflexiones (picos); (c) el análisis de la geometría de las reflexiones permite también

determinar el tamaño de los cristales; y (d) a través de un análisis cualitativo, es posible identificar los componentes de una mezcla (Aparicio Ceja & Carbajal Arizaga, 2010).

En la Figura 21 se muestra el Difractómetro de Rayos X del Centro de Investigación de Materiales de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) ubicado en Morelia Michoacán.

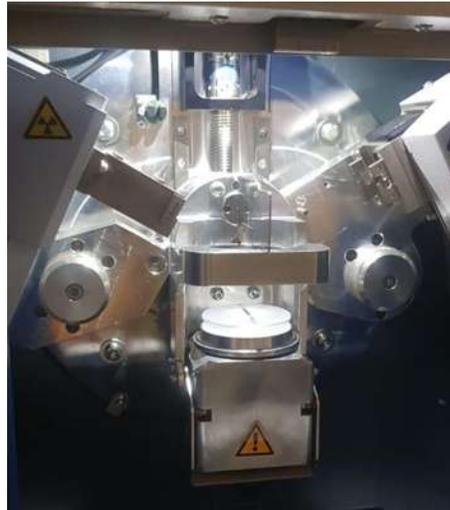


Figura 21. Difractómetro de rayos X del Centro de Investigación de Materiales de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) campus Morelia. Fuente: Elaboración propia.

Ejemplo de caracterización de los almidones por Difracción de Rayos X

Los almidones son materiales semicristalinos que, gracias a su capacidad para difractar los rayos X, permiten obtener información valiosa sobre su estructura (Bello-Pérez et al., 2002). El almidón presenta diversas reacciones ante la difracción de rayos X, y en términos generales, se pueden identificar cuatro patrones distintos que se presentan en la Figura 22.

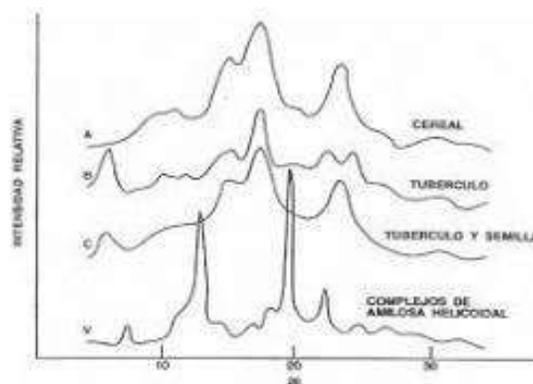


Figura 22. Patrón de rayos X: A, B, C y V (Rodríguez-Hernández et al., 2001).

El patrón A es característico de los cereales, el B se relaciona con los almidones de maíz que tienen un alto contenido de amilosa y los tubérculos, mientras que el patrón C se asocia a los almidones de legumbres, representando una estructura intermedia entre A y B. Por otro lado, el patrón V está vinculado a complejos de inclusión helicoidal de la amilosa cristalina (Zobel, 1988). La parte amorfa del gránulo de almidón está compuesta principalmente por amilosa, mientras que la región cristalina se forma a partir de agrupaciones paralelas de cadenas cortas de amilopectina. Esta última también presenta tanto regiones amorfas como regiones altamente cristalinas. Las regiones amorfas están relacionadas con los puntos de ramificación de la amilopectina, mientras que la región cristalina se origina por los planos formados por estas agrupaciones y las cadenas lineales presentes en la molécula de amilopectina (Rodríguez-Hernández et al., 2001). Los gránulos de almidón de maíz mostraron un patrón de difracción de tipo A, con los picos más intensos localizados a $2\theta = 15, 18$ y 23° (Myllärinen et al., 2002).

En la literatura, no existe una homogeneidad en la asignación de los patrones de difracción de rayos X para los almidones derivados de raíces y tubérculos no convencionales, como el taro, la cará, la batata y el kudzu ((Huang, 2009); (Geng et al., 2007)).

Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FT-IR)

La Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) es una técnica utilizada para obtener la huella dactilar molecular de muestras biológicas que absorben la radiación infrarroja, según los enlaces químicos y la estructura de las moléculas. Esta técnica proporciona valiosa información sobre la estructura específica de biomoléculas como lípidos, proteínas, carbohidratos y ácidos nucleicos, a través de una serie de bandas identificables de grupos funcionales en la región del infrarrojo medio. Varios autores han documentado el uso de la espectroscopia FTIR en potenciales aplicaciones en sistemas biológicos, incluyendo estudios citológicos, histológicos y microbianos. Esto aproxima la técnica al diagnóstico clínico, especialmente cuando se combina con métodos computacionales. Por otro lado, el Análisis de Componentes Principales (ACP) es una técnica estadística que procesa las bandas espectrales obtenidas mediante FTIR, permitiendo discriminar entre diferentes tipos de linajes celulares (Mata-Miranda et al., 2017).

En la Figura 23 se muestra el equipo de Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier del Instituto de Materiales de Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) ubicado en Morelia Michoacán.



Figura 23. Equipo de Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier del Instituto de Materiales de Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) campus Morelia. Fuente: Elaboración propia.

Ejemplos de caracterización de los almidones por la técnica FT-IR

La técnica FT-IR nos ofrece valiosa información sobre la organización estructural de las cadenas de almidón que se encuentran cercanas a la superficie del gránulo, dado que el haz de infrarrojo penetra únicamente hasta 2 μm en el interior del mismo. En la tabla 13, se detallan las señales que se han identificado en los espectros de infrarrojo del almidón (Pérez & Karen, 2019).

Tabla 13. Elucidación estructural de los almidones de camote (Pérez & Karen, 2019).

Señal	Enlace	Interpretación
1631	O-H	Vibración de deformación de los grupos hidroxilo en el agua presente en el almidón.
1460	C-H/C-H ₂	Vibración de tensión entre los enlaces C-H y flexión del enlace C-H ₂
1385	C-H/C-H ₂	Vibración de tensión entre los enlaces C-H y flexión del enlace C-H ₂
1158	C-O/C-O-H	Banda correspondiente a las deformaciones de tensión del C-O-C y la flexión del OH.
1083	C-O/C-O-H	Banda correspondiente al estiramiento de los enlaces C-O y C-O-H
991	C-O-H	Vibración que corresponde al enlace glucosídico.

Microscopia Electrónica de Barrido (MEB)

Entre las técnicas más comunes para la visualización de superficies de biomateriales, la Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) se destaca por su capacidad de proporcionar imágenes de alta resolución y un notable efecto tridimensional. Para que las muestras sean adecuadas para la observación a través de esta técnica, es necesario que cumplan con ciertos requisitos: deben ser compatibles con operaciones en condiciones de vacío y, además, deben ser conductoras eléctricas. En el caso de las muestras que no cumplen con estas características, se aplica un recubrimiento de oro o carbón utilizando la técnica de espolvoreado catódico, buscando obtener una delgada capa conductora que oscila entre 10 y 40 μm (Lozano et al., 2010).

En la Figura 24 se muestra el Microscopio Electrónico de Barrido del Instituto de Investigaciones Metalúrgicas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.



Figura 24. Microscopio Electrónico de Barrido del Instituto de Investigaciones Metalúrgicas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Fuente: Elaboración propia.

Las muestras de almidón se analizaron en el Microscopio Electrónico de Barrido del Instituto de Investigaciones Metalúrgicas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Se realizó mediante un Microscopio Electrónico de Barrido JEOL 6400, recubriendo con una película de cobre para asegurar la conducción, operando a 15Kv.

Las muestras de las películas de hidrogel se analizaron en el laboratorio de microscopía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) campus Morelia. El equipo empleado es un Microscopio electrónico de barrido JEOL JSM-IT300; las muestras se recubrieron con oro.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el capítulo 4 se muestran los resultados obtenidos de las caracterizaciones de los almidones seccionados, así como los resultados de la síntesis de las películas de hidrogel detallando sus respectivas caracterizaciones.

Caracterización del almidón de *Ipomoea Batatas* por medio de la técnica analítica de Difracción de Rayos X (DRX)

Los espectros de difracción de rayos X proporcionan información sobre la estructura y el grado de cristalinidad de los gránulos de almidón, los cuales presentan distintos patrones de difracción: A, B, C y V, que dependen de la fuente botánica (Figura 25). En el caso de las muestras analizadas en este trabajo, los patrones de difracción corresponden al tipo C, característico de ciertos tubérculos. Según la literatura, el camote exhibe valores del ángulo de Bragg (2θ) en 15.4° , 17.2° , 18.3° y 23.4° (Pérez & Karen, 2019).

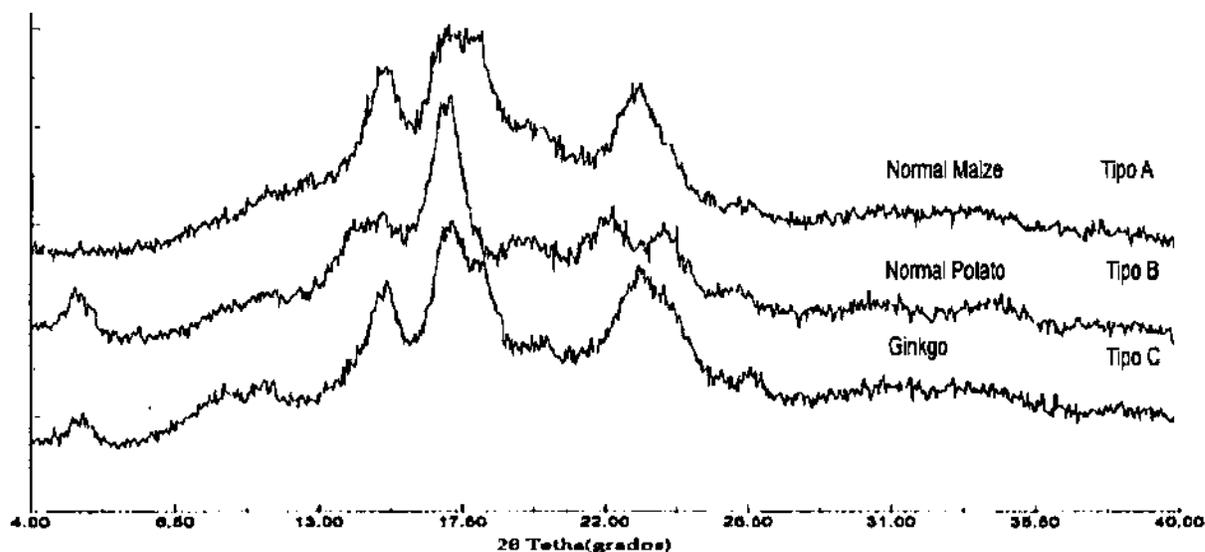


Figura 25. Patrones de difracción de rayos X de almidones de maíz normal (tipo A) almidón de papa (tipo B) y almidón de Ginkgo (tipo C) (Pérez & Karen, 2019).

En la Figura 26 se muestran los patrones de DRX de las muestras analizadas. Representando cada una de las diferentes muestras con distintos colores, así, el análisis de DRX del almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (P) (AIB.ManP) se representa en color amarillo fuerte; el análisis de DRX del almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (S) (AIB.ManS) se representa en color amarillo claro; el análisis de DRX del almidón de *Ipomoea Batatas* blanco (S) (AIB.BlaP) se representa en color verde fuerte; el análisis de DRX del almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (S) (AIB.BlaS) se representa en color verde claro; el análisis de DRX del

almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P) (AIB.MorP) se representa en color morado y el análisis de DRX del almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S) (AIB.MorS) se representa con el color lila.

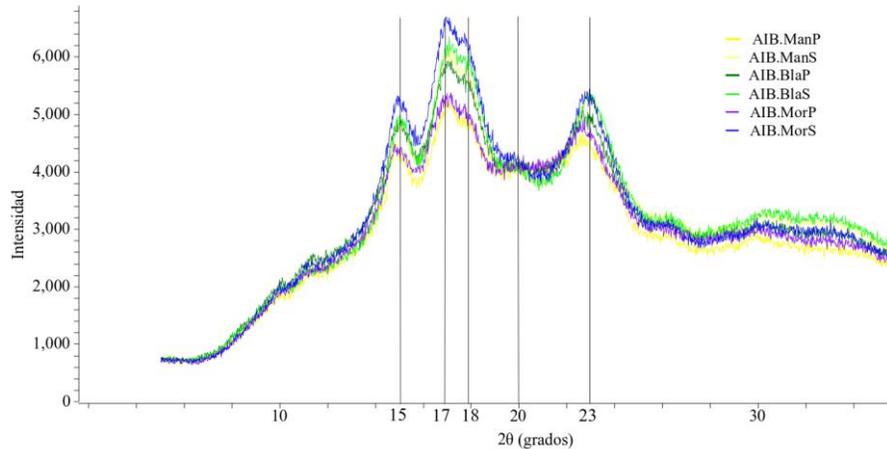


Figura 26. Patrones de Difracción de Rayos X de los almidones obtenidos. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 27 se muestra por separado el análisis de DRX del almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (P) (AIB.ManP), el análisis de DRX del almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (S) (AIB.ManS), con picos de mayor intensidad localizados en $2\theta = 15, 17, 18, 20$ y 23° como lo indica Bader y Göritz, (1994).

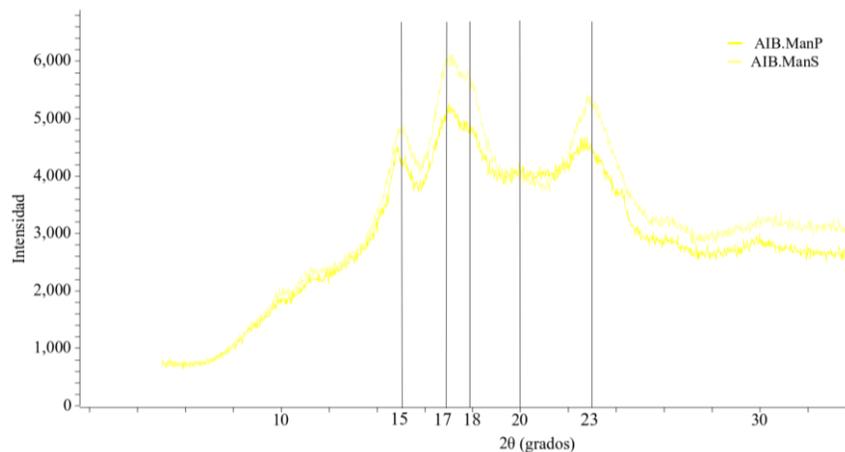


Figura 27. Picos característicos de los almidones obtenidos de los camotes seleccionados. DRX del almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (P) (AIB.ManP) y DRX del almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (S) (AIB.ManS). Fuente: Elaboración propia.

En la

Figura 28 se muestra el análisis de DRX del almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (P) (AIB.BlaP), el análisis de DRX del almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (S) (AIB.BlaS) comparándolos con los picos característicos reportados por Myllärinen et al., (2002) de Los gránulos de almidón de maíz mostraron un patrón de difracción tipo A, con picos de mayor intensidad localizados en $2\theta = 15, 18, 20$ y 23° .

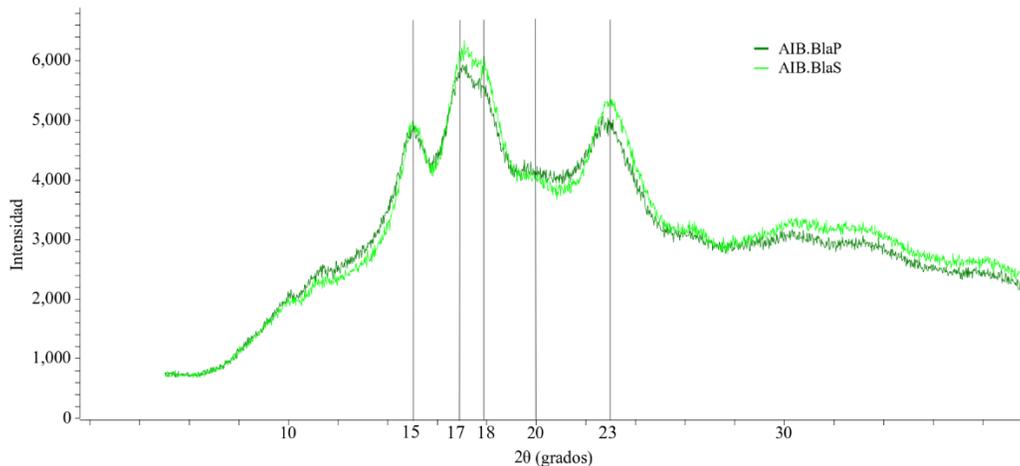


Figura 28. Picos característicos de los almidones obtenidos de los camotes seleccionados. DRX del almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (P) (AIB.BlaP) y DRX del almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (S) (AIB.BlaS). Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 29 se muestra el análisis de DRX del almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P) (AIB.MorP) y el análisis de DRX del almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S) (AIB.MorS), comparándolos con los picos característicos reportados por Bader y Goritz de los gránulos de almidón de maíz mostraron un patrón de difracción tipo A, con picos de mayor intensidad localizados en $2\theta = 15, 18, 20$ y 23° como lo reporta Myllärinen et al., (2002).

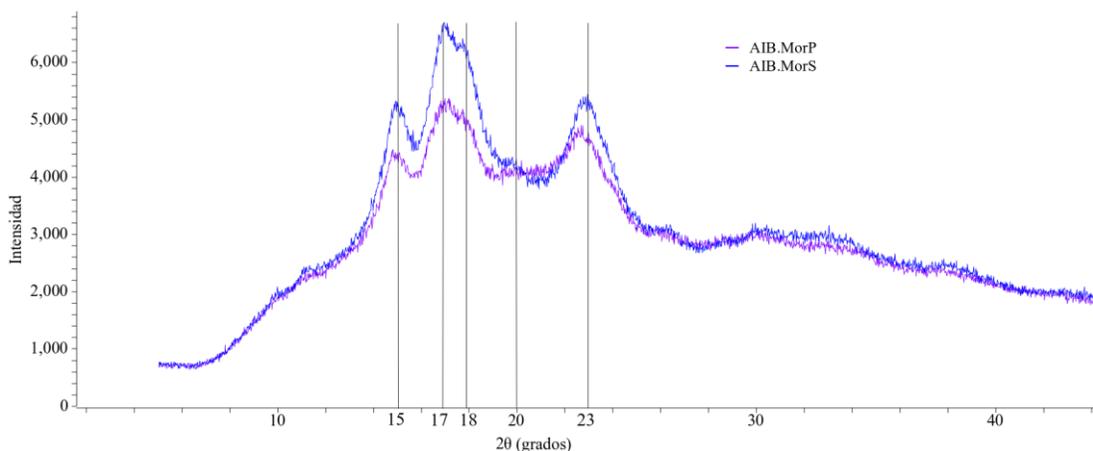


Figura 29. Picos característicos de los almidones obtenidos de los camotes seleccionados. DRX del almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P) (AIB.MorP) y DRX del almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S) (AIB.MorS). Fuente: Elaboración propia.

Caracterización del almidón de *Ipomoea Batatas* por medio de la técnica analítica de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR)

En la Figura 30 se muestran los resultados del análisis por FT-IR de las muestras analizadas. Representando cada una de las diferentes muestras con distintos colores, así, el análisis de FT-IR del almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (P) (AIB.ManP) se representa en color amarillo fuerte; el análisis de FT-IR del almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (S) (AIB.ManS) se representa en color amarillo claro; el análisis de FT-IR del almidón de *Ipomoea Batatas* blanco (S) (AIB.BlaP) se representa en color verde fuerte; el análisis de FT-IR del almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (S) (AIB.BlaS) se representa en color verde claro; el análisis de FT-IR del almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P) (AIB.MorP) se representa en color morado y el análisis de FT-IR del almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S) (AIB.MorS) se representa con el color lila.

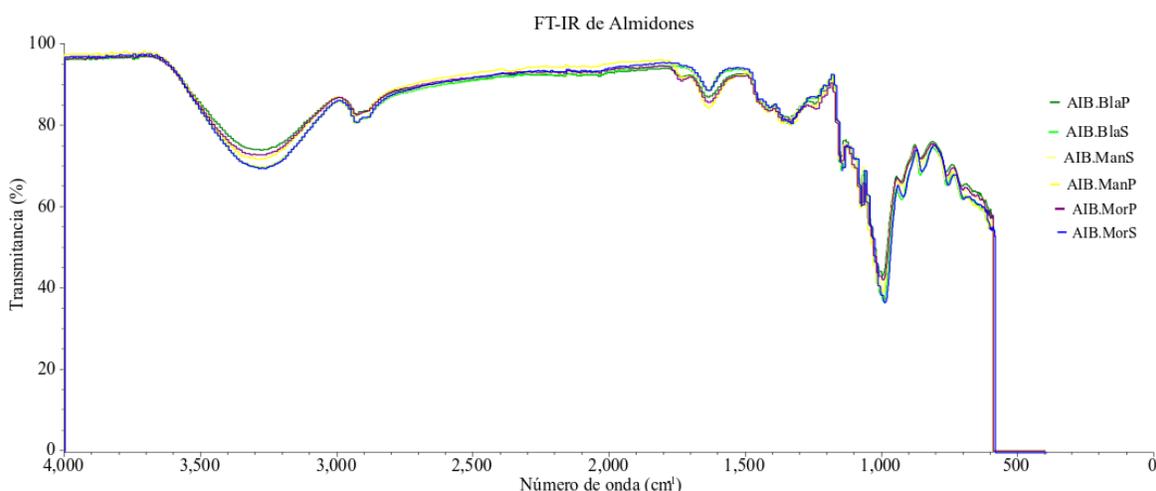


Figura 30. Bandas características de las muestras analizadas de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier de los almidones analizados. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 31 se muestran las bandas obtenidas del análisis de FT-IR del almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (P) (AIB.ManP); el análisis de FT-IR del almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (S) (AIB.ManS). Los espectros presentan en la región de la huella dactilar, específicamente entre 1631 y 991 cm^{-1} , que son característicos de los polisacáridos. Estas bandas se deben a las deformaciones de tensión del enlace C-O-C (991 cm^{-1}) y a la flexión del enlace O-H (1631 cm^{-1}). La estructura del almidón contiene enlaces C-O (1158 y 1083 cm^{-1}), incluyendo C-O-C (1158 y 1083 cm^{-1}), CH₂OH (1385 y 1460 cm^{-1}) y COH (1158 y 1083 cm^{-1}). Los enlaces mencionados anteriormente están presentes en las estructuras de la amilosa y la amilopectina como lo reporta Pérez & Karen, (2019) de las bandas características de los almidones.

SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN HIDROGEL A BASE DE ALMIDÓN DE *IPOMOEA* BATATAS PARA USO EN INGENIERÍA TISULAR

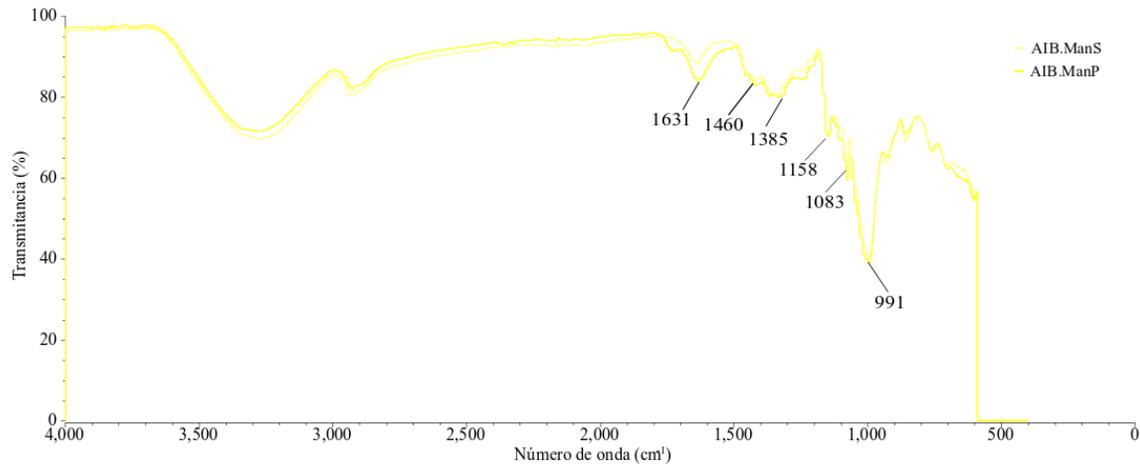


Figura 31. Bandas obtenidas de los almidones seleccionados. Bandas del almidón de *Ipomoea Batatas Mantequilla* (P) (AIB.ManP) y bandas del almidón de *Ipomoea Batatas Mantequilla* (S) (AIB.ManS). Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 32 se muestra las bandas obtenidas del análisis de FT-IR del almidón de *Ipomoea Batatas Blanco* (P) (AIB.BlaP); el análisis de FT-IR del almidón de *Ipomoea Batatas Blanco* (S) (AIB.BlaS). Los espectros presentan en la región de la huella dactilar, específicamente entre 1631 y 991 cm⁻¹, que son característicos de los polisacáridos. Estas bandas se deben a las deformaciones de tensión del enlace C-O-C (991 cm⁻¹) y a la flexión del enlace O-H (1631 cm⁻¹). La estructura del almidón contiene enlaces C-O (1158 y 1083 cm⁻¹), incluyendo C-O-C, CH₂OH (1385 y 1460 cm⁻¹) y COH (1158 y 1083 cm⁻¹). Los enlaces mencionados anteriormente están presentes en las estructuras de la amilosa y la amilopectina como lo reporta (Pérez & Karen, 2019) de las bandas características de los almidones.

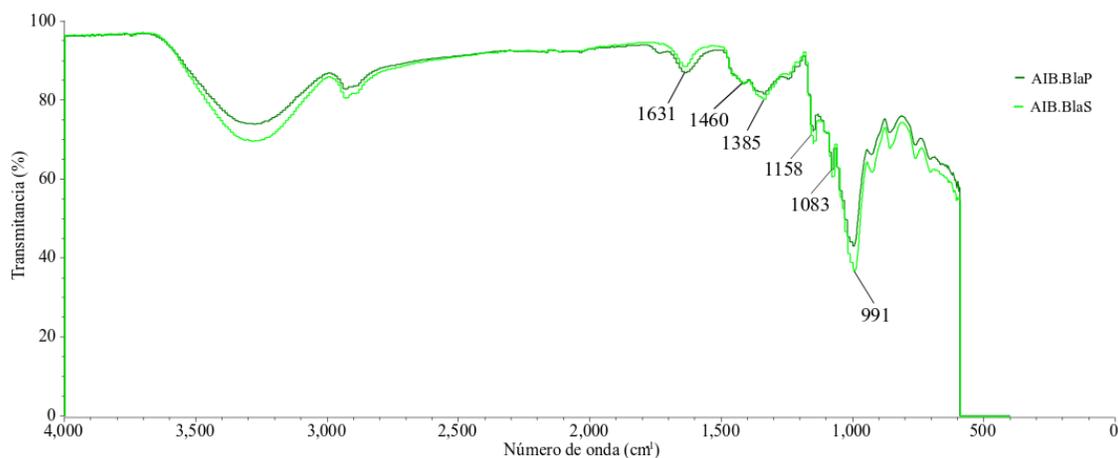


Figura 32. Bandas obtenidas de los almidones seleccionados. Bandas del almidón de *Ipomoea Batatas Blanco* (P) (AIB.BlaP) y bandas del almidón de *Ipomoea Batatas Blanco* (S) (AIB.BlaS). Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 33 se muestran las bandas obtenidas del análisis de FT-IR del almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P) (AIB.MorP); el análisis de FT-IR del almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S) (AIB.MorS). Los espectros presentan en la región de la huella dactilar, específicamente entre 1631 y 991 cm^{-1} , que son característicos de los polisacáridos. Estas bandas se deben a las deformaciones de tensión del enlace C-O-C (991 cm^{-1}) y a la flexión del enlace O-H (1631 cm^{-1}). La estructura del almidón contiene enlaces C-O (1158 y 1083 cm^{-1}), incluyendo C-O-C, CH₂OH (1385 y 1460 cm^{-1}) y COH (1158 y 1083 cm^{-1}). Los enlaces mencionados anteriormente están presentes en las estructuras de la amilosa y la amilopectina como lo reporta Pérez & Karen, (2019) de las bandas características de los almidones.

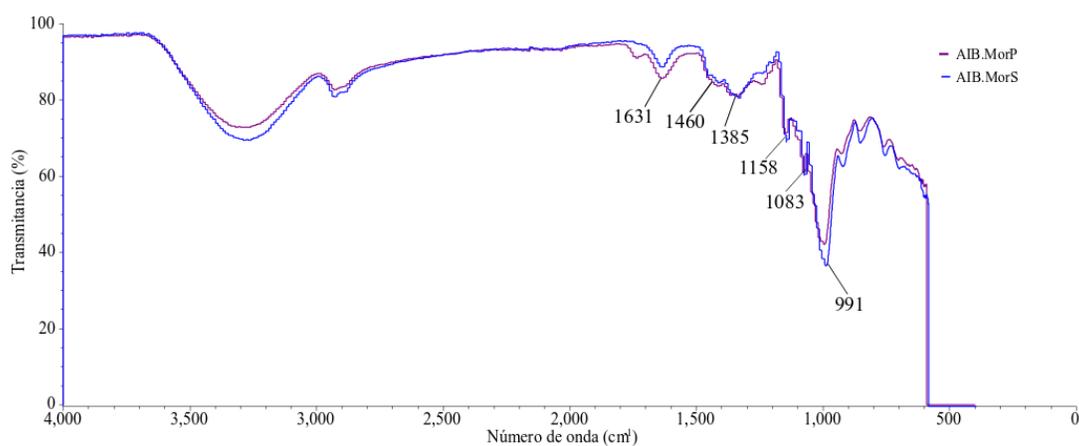


Figura 33. Bandas obtenidas de los almidones seleccionados. Bandas del almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P) (AIB.MorP) y bandas del almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S) (AIB.MorS). Fuente: Elaboración propia.

En los espectros mostrados en la Figura 34 se observa, en la región que va de 1250 a 400 cm^{-1} , la característica huella dactilar del almidón de camote (Pérez & Karen, 2019).

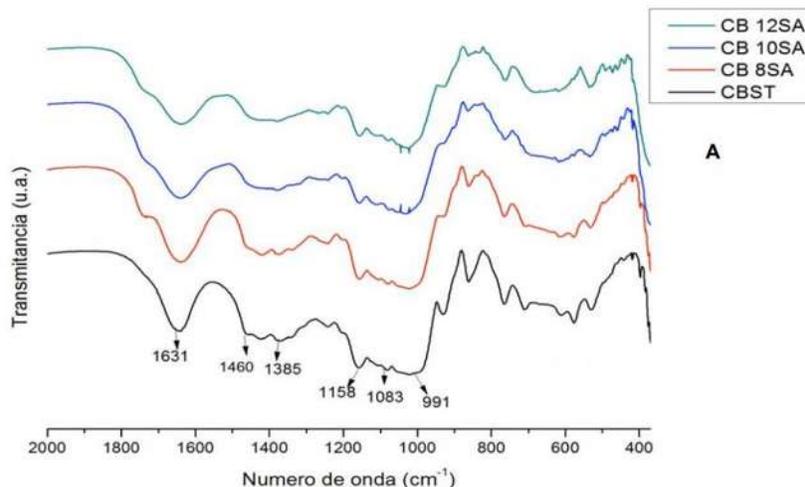


Figura 34. Espectro del almidón de camote nativo (Pérez & Karen, 2019).

Los espectros que se muestran en la Figura 34 fueron obtenidos por Pérez y Karen en un estudio relacionado con la caracterización de camote nativo mexicano, en particular del estado de Hidalgo. Los espectros presentan en la región de la huella dactilar, específicamente entre 1631 y 991 cm^{-1} , que son característicos de los polisacáridos. Estas bandas se deben a las deformaciones de tensión del enlace C-O-C (991 cm^{-1}) y a la flexión del enlace O-H (1631 cm^{-1}). La estructura del almidón contiene enlaces C-O (1158 y 1083 cm^{-1}), incluyendo C-O-C, CH₂OH (1385 y 1460 cm^{-1}) y COH (1158 y 1083 cm^{-1}). Los enlaces mencionados anteriormente están presentes en las estructuras de la amilosa y la amilopectina (Pérez & Karen, 2019). Cabe mencionar que en los resultados derivados de la investigación de la presente tesis se encontraron las mismas bandas principales que en el estudio de Pérez y Karen con algunas ligeras diferencias que podrían atribuirse al proceso de extracción, presencia de trazas de pigmentos u otras sustancias, es decir, su grado de pureza.

Discusión de los resultados de FT-IR

A pesar de que los espectros obtenidos para las 6 muestras de los almidones presentan las bandas características reportadas en la literatura por algunos autores, se realizó una comparación con bases de datos comerciales de FT-IR (ART-LIB-COMLETE-2-482-2.S01) encontrándose que existe además una posible correlación con la amilopectina, ciclodextrin, maltopentaose y almidón de maíz. El procedimiento realizado fue el siguiente:

Las muestras obtenidas de los almidones de *Ipomoea Batatas* Blanco (P) (AIB.BlaP), del almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (S) (AIB.BlaS), almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P) (AIB.MorP) y del almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S) (AIB.MorS) se compararon con 4 compuestos:

Amylopectine por el nombre del compuesto; cyclodextrin por el nombre alterno del compuesto cycloheptaamylose; Maltopentaose por su fórmula química C₃₀H₅₂O₂₆ y Starch-Corn por su fórmula química (C₆H₁₀O₅)_n.

Cada comparación consiste en la graficación sobrepuesta de los espectros de los almidones bajo estudio y el espectro de la molécula o compuesto con el que se compara el almidón de *Ipomoea Batatas*, se presenta además la ficha técnica de la molécula que incluye su nombre, fórmula química, peso moléculas, otros nombres de la molécula, la base de datos de donde se obtuvo la información, el CAS RN (es un identificador numérico asignado por la Chemical Abstracts Service para cada sustancia química que se describe en la literatura científica).

Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (P) (AIB.BlaP) comparándolos con las bandas características de la Amilopectina a partir de la base de datos ART-LIB-COMPLETE-2-482-2.S01

Color	Hit Quality	Compound name	Color	File
		AMYLOPECTINE		AIB.BlaP.SPA

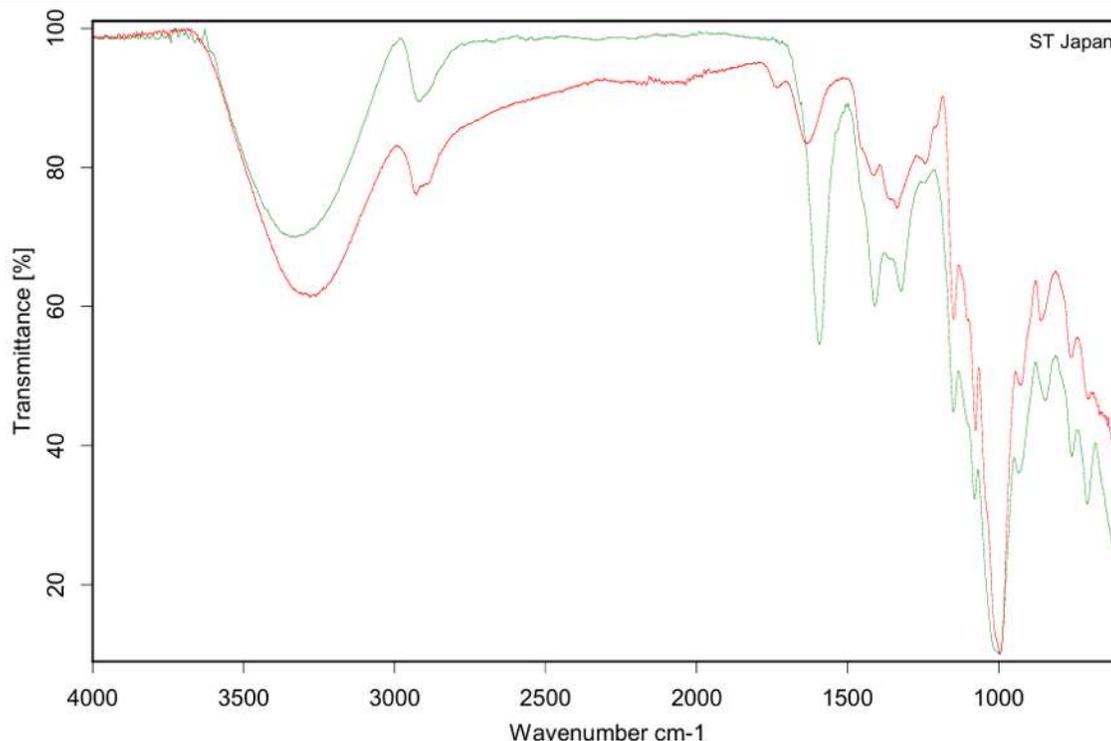


Figura 35. Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (P) (AIB.BlaP) comparándolos con las bandas características de la Amilopectina a partir de una base de datos.

Compound Name	AMYLOPECTINE
Molecular Formula	
Molecular Weight	
CAS Registry Number	9037-22-3
Sample Preparation	ATR single bounce
Comment	emulsifier natural based
Reference	MP0422/ NIC08820
Copyright	(c) 2014 Nicodm
Entry No.	3166
Library name	ATR-LIB-COMPLETE-2-482-2.S01

En la ficha técnica anterior se muestra los datos de la sustancia amilopectina que es una de las sustancias presentes en el almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (P), dada la similitud que existe en las bandas y la morfología del espectro se puede deducir que el almidón obtenido presenta un alto contenido de amilopectina.

Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (P) (AIB.BlaP) comparándolos con las bandas características de cyclodextrin -por el nombre alterno del compuesto cycloheptaamylose- a partir de la base de datos ART-LIB-COMLETE-2-482-2.S01

Color	Hit Quality	Compound name	CAS Number	Molecular formula	Molecular weight
	613	B-CYCLODEXTRIN	7585-39-9	C42H70O35	1135

Color	File
	AIB.BlaP.SPA

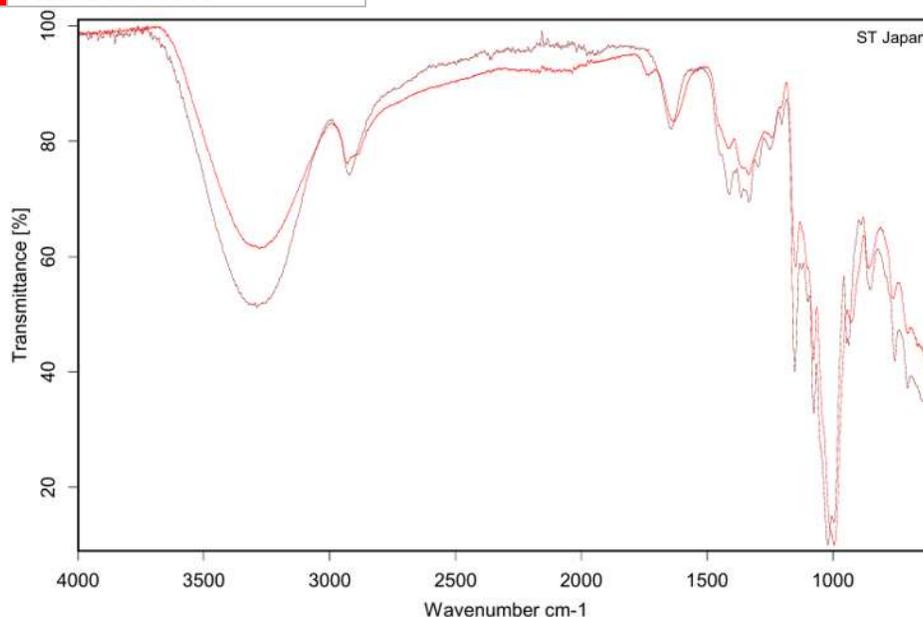
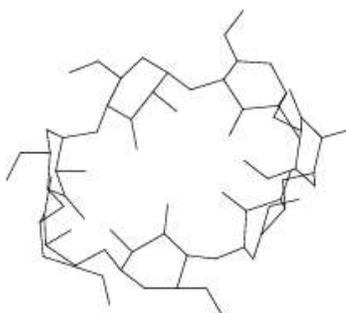


Figura 36. Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (P) (AIB.BlaP) comparándolos con las bandas característicos de la B-CYCLODEXTRIN a partir de una base de datos.



Compound Name	B-CYCLODEXTRIN
Molecular Formula	C42H70O35
Molecular Weight	1135
CAS Registry Number	7585-39-9
Other Names	CYCLOHEPTAAMYLOSE B-SCHARDINGER DEXT
Sample Preparation	ATR single bounce
Reference	J05831/ A02864
Copyright	(c) 2014 STJapan Inc.
Entry No.	2125
Library name	ATR-LIB-COMLETE-1-482-2.S01

En la ficha técnica anterior se muestra los datos de cyclodextrin que es una de las sustancias presentes en el almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (P), dada la similitud que existe en las bandas y la morfología del espectro se puede deducir que el almidón obtenido presenta un alto contenido de cyclodextrin.

Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (P) (AIB.BlaP) comparándolos con las bandas características de maltopentaose por su fórmula química $C_{30}H_{52}O_{26}$ a partir de la base de datos ART-LIB-COMPLETE-2-482-2.S01.

Color	Hit Quality	Compound name	CAS Number	Molecular formula	Molecular weight
	830	MALTOPENTAOSE	34620-76-3	C30H52O26	

Color	File
	AIB.BlaP.SPA

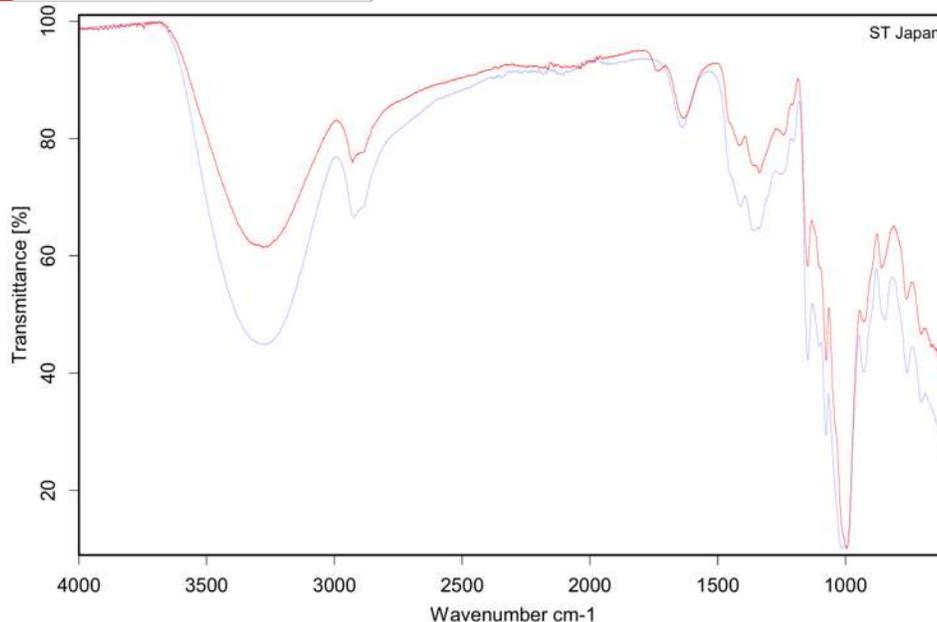
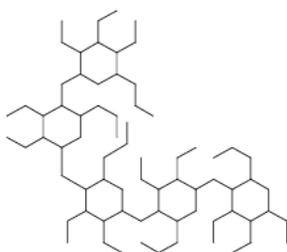


Figura 37. Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (P) (AIB.BlaP) comparándolos con las bandas característicos de la Maltopentaose a partir de una base de datos.



Compound Name	MALTOPENTAOSE
Molecular Formula	C30H52O26
Molecular Weight	828.72
CAS Registry Number	34620-76-3
Sample Preparation	ATR single bounce
Manufacturer	Wako
Reference	WAK02120/ WAK02120
Copyright	(c) 2017 STJapan Inc.
Entry No.	600
Library name	ATR-LIB-COMPLETE-0-532-2.S01

En la ficha técnica anterior se muestra los datos de la sustancia maltopentaose por su fórmula química $C_{30}H_{52}O_{26}$ que es una de las sustancias presentes en el almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (P), dada la similitud que existe en las bandas y la morfología del espectro se puede deducir que el almidón obtenido presenta un alto contenido de maltopentaose por su fórmula química $C_{30}H_{52}O_{26}$.

Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (P) (AIB.BlaP) comparándolos con las bandas características del Starch-Corn -por su fórmula química (C₆H₁₀O₅)- a partir de la base de datos ART-LIB-COMLETE-2-482-2.S01

Color	Hit Quality	Compound name	CAS Number	Molecular formula	Molecular weight
	879	STARCH (CORN)	9005-25-8	(C ₆ H ₁₀ O ₅) _n	

Color	File
	AIB.BlaP.SPA

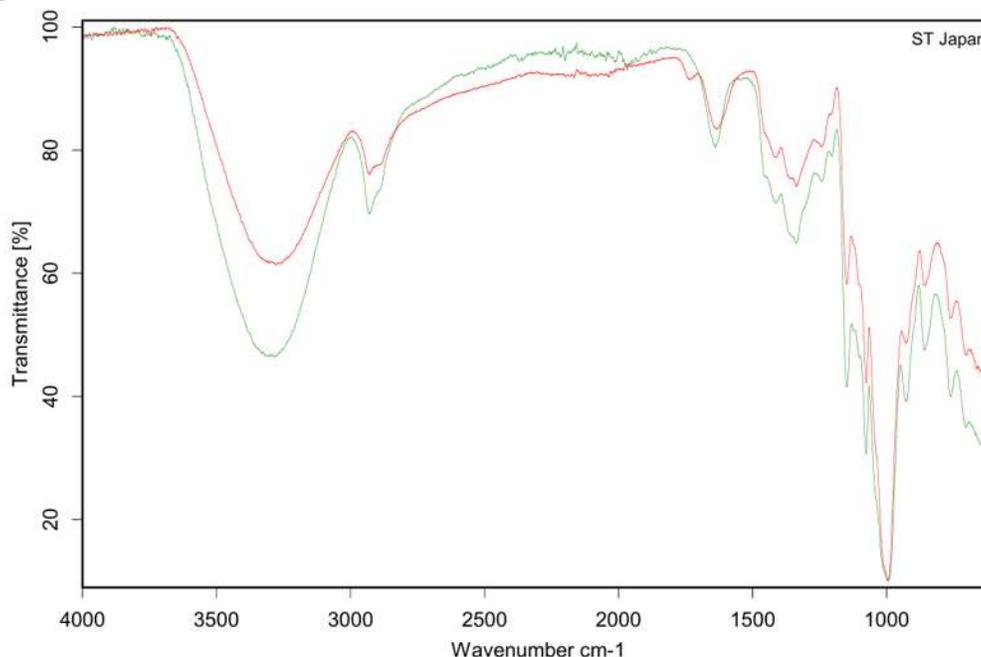


Figura 38. Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (P) (AIB.BlaP) comparándolos con las bandas característicos del almidón de maíz a partir de una base de datos.

Compound Name	STARCH (CORN)
Molecular Formula	(C ₆ H ₁₀ O ₅) _n
Molecular Weight	
CAS Registry Number	9005-25-8
Sample Preparation	ATR single bounce
Reference	J02744/ A02706
Copyright	(c) 2014 STJapan Inc.
Entry No.	2019
Library name	ATR-LIB-COMLETE-1-482-2.S01
Library description	ATR-FTIR-Library COMPLETE, Vol. 1

En la ficha técnica anterior se muestra los datos del Starch-Corn -por su fórmula química (C₆H₁₀O₅)- que es una de las sustancias presentes en el almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (P), dada la similitud que existe en las bandas y la morfología del espectro se puede deducir que el almidón obtenido presenta un alto contenido de del Starch-Corn.

Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (S) (AIB.BlaS) comparándolos con las bandas características de la Amilopectina a partir de la base de datos ART-LIB-COMLETE-2-482-2.S01

Color	Hit Quality	Compound name	CAS Number	Molecular formula	Molecular weight
	476	AMYLOPECTINE	9037-22-3	(C6 H10 O5) _n	

Color	File
	AIB.BlaS.SPA

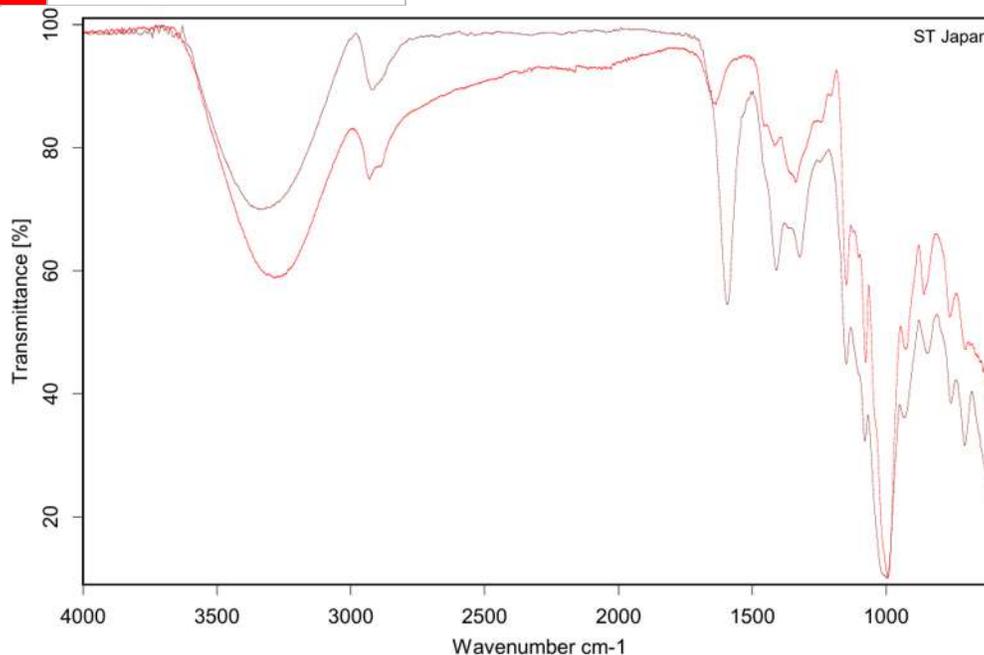


Figura 39. Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (S) (AIB.BlaS) comparándolos con las bandas característicos de la Amilopectina a partir de una base de datos.

Compound Name	AMYLOPECTINE
Molecular Formula	
Molecular Weight	
CAS Registry Number	9037-22-3
Sample Preparation	ATR single bounce
Comment	emulsifier natural based
Reference	MP0422/ NIC08820
Copyright	(c) 2014 Nicodrom
Entry No.	3166
Library name	ATR-LIB-COMLETE-2-482-2.S01

En la ficha técnica anterior se muestra los datos de la sustancia amilopectina que es una de las sustancias presentes en el almidón de *Ipomoea Batata* Blanco (S), dada la similitud que existe en las bandas y la morfología del espectro se puede deducir que el almidón obtenido presenta un alto contenido de amilopectina.

Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (S) (AIB.BlaS) comparándolos con las bandas características de cyclodextrin -por el nombre alterno del compuesto cycloheptaamylose- a partir de la base de datos ART-LIB-COMLETE-2-482-2.S01

Color	Hit Quality	Compound name	CAS Number	Molecular formula	Molecular weight
	856	B-CYCLODEXTRIN	7585-39-9	C42H70O35	1135

Color	File
	AIB.BlaS.SPA

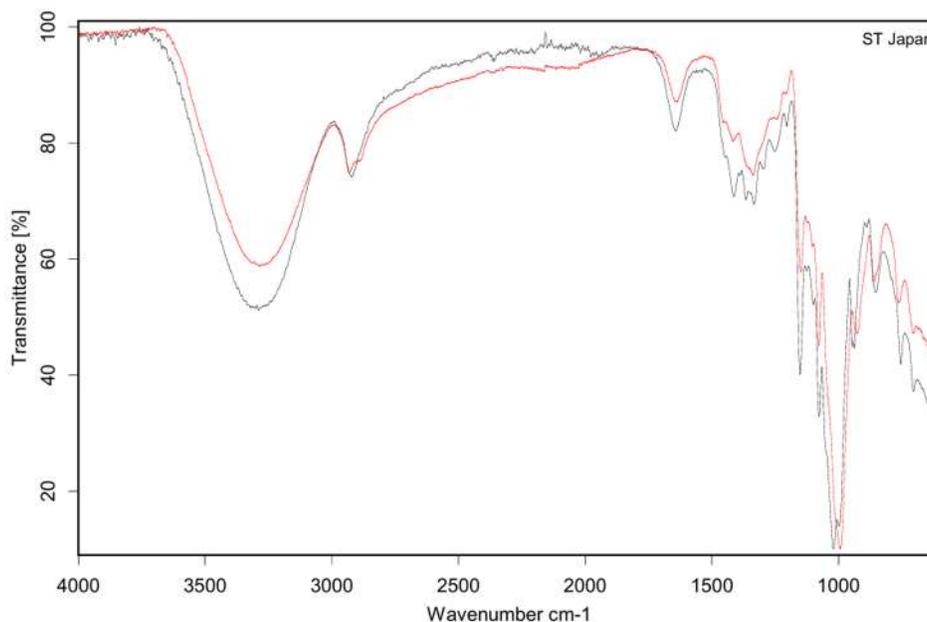
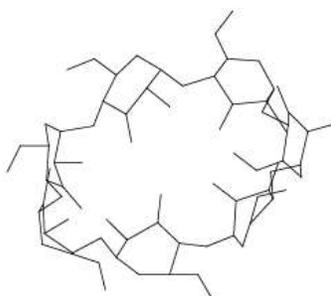


Figura 40. Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (S) (AIB.BlaS) comparándolos con las bandas característicos de B.Cyclodextrin a partir de una base de datos.



Compound Name	B-CYCLODEXTRIN
Molecular Formula	C42H70O35
Molecular Weight	1135
CAS Registry Number	7585-39-9
Other Names	CYCLOHEPTAAMYLOSE B-SCHARDINGER DEXT
Sample Preparation	ATR single bounce
Reference	J05831/ A02864
Copyright	(c) 2014 STJapan Inc.
Entry No.	2125
Library name	ATR-LIB-COMLETE-1-482-2.S01

En la ficha técnica anterior se muestra los datos de cyclodextrin que es una de las sustancias presentes en el almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (S), dada la similitud que existe en las bandas y la morfología del espectro se puede deducir que el almidón obtenido presenta un alto contenido de cyclodextrin.

Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (S) (AIB.BlaS) comparándolos con las bandas características de maltopentaose por su fórmula química $C_{30}H_{52}O_{26}$ a partir de la base de datos ART-LIB-COMLETE-2-482-2.S01.

Color	Hit Quality	Compound name	CAS Number	Molecular formula	Molecular weight
	931	MALTOPENTAOSE	34620-76-3	C30H52O26	

Color	File
	AIB.BlaS.SPA

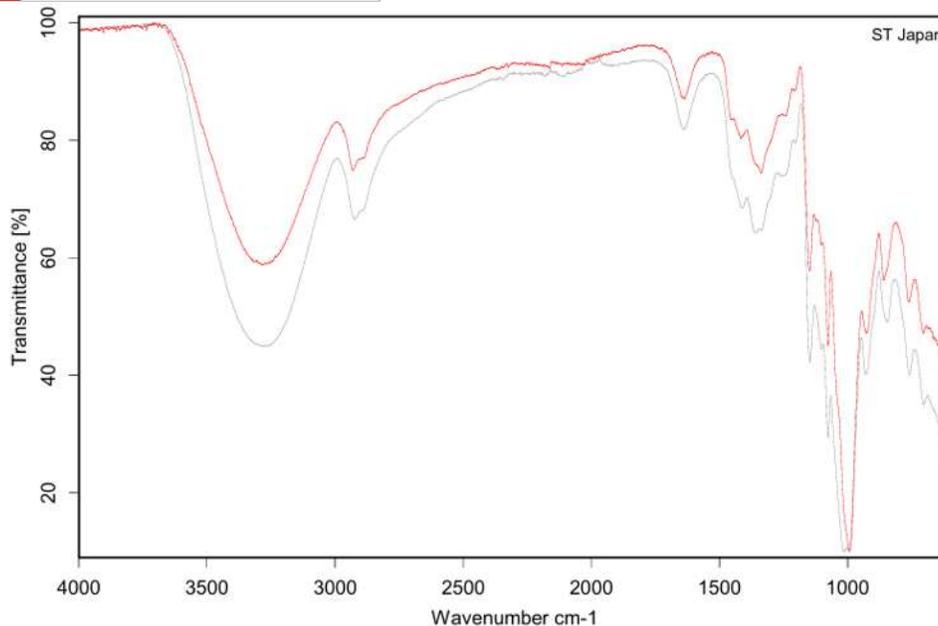
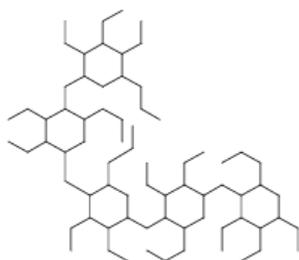


Figura 41. Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (S) (AIB.BlaS) comparándolos con las bandas característicos de Maltopentaose a partir de una base de datos.



Compound Name	MALTOPENTAOSE
Molecular Formula	C30H52O26
Molecular Weight	828.72
CAS Registry Number	34620-76-3
Sample Preparation	ATR single bounce
Manufacturer	Wako
Reference	WAK02120/ WAK02120
Copyright	(c) 2017 STJapan Inc.
Entry No.	600
Library name	ATR-LIB-COMLETE-0-532-2.S01

En la ficha técnica anterior se muestra los datos de la sustancia maltopentaose por su fórmula química $C_{30}H_{52}O_{26}$ que es una de las sustancias presentes en el almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (S), dada la similitud que existe en las bandas y la morfología del espectro se puede deducir que el almidón obtenido presenta un alto contenido de maltopentaose por su fórmula química $C_{30}H_{52}O_{26}$.

Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (S) (AIB.BlaS) comparándolos con las bandas características del Starch-Corn -por su fórmula química (C₆H₁₀O₅)- a partir de la base de datos ART-LIB-COMLETE-2-482-2.S01

Color	Hit Quality	Compound name	CAS Number	Molecular formula	Molecular weight
	996	STARCH (CORN)	9005-25-8	(C ₆ H ₁₀ O ₅) _n	

Color	File
	AIB.BlaS.SPA

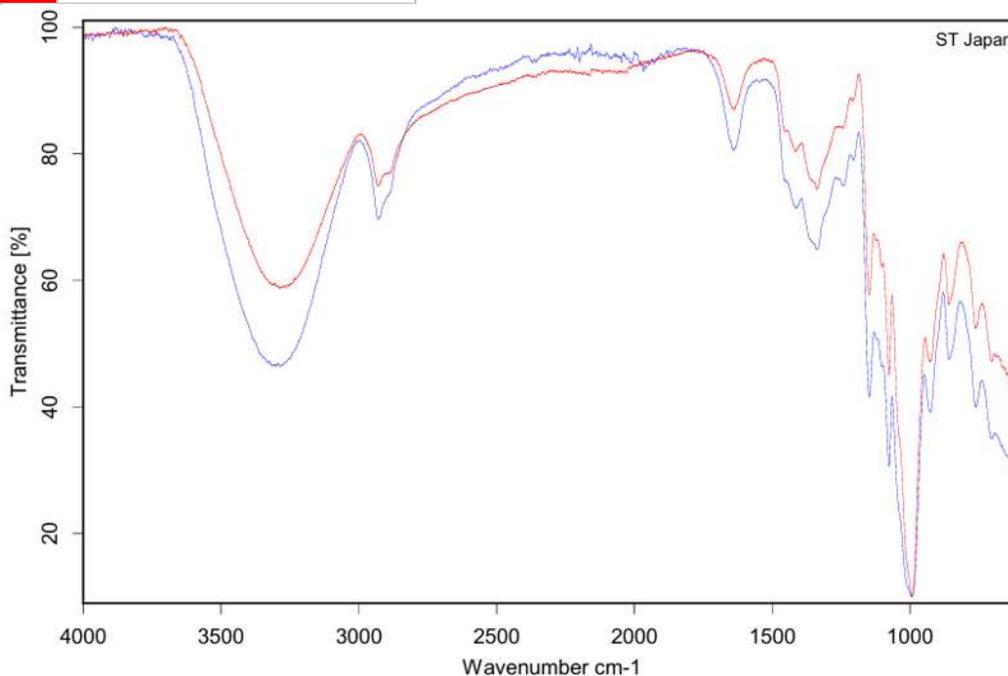


Figura 42. Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (S) (AIB.BlaS) comparándolos con las bandas característicos del almidón de maíz a partir de una base de datos.

Compound Name	STARCH (CORN)
Molecular Formula	(C ₆ H ₁₀ O ₅) _n
Molecular Weight	
CAS Registry Number	9005-25-8
Sample Preparation	ATR single bounce
Reference	J02744/ A02706
Copyright	(c) 2014 STJapan Inc.
Entry No.	2019
Library name	ATR-LIB-COMLETE-1-482-2.S01
Library description	ATR-FTIR-Library COMPLETE, Vol. 1

En la ficha técnica anterior se muestra los datos del Starch-Corn -por su fórmula química (C₆H₁₀O₅)- que es una de las sustancias presentes en el almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (S), dada la similitud que existe en las bandas y la morfología del espectro se puede deducir que el almidón obtenido presenta un alto contenido de del Starch-Corn.

Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P) (AIB.MorP) comparándolos con las bandas características de cyclodextrin -por el nombre alterno del compuesto cycloheptaamylose- a partir de la base de datos ART-LIB-COMLETE-2-482-2.S01

Color	Hit Quality	Compound name	CAS Number	Molecular formula	Molecular weight
	590	B-CYCLODEXTRIN	7585-39-9	C42H70O35	1135

Color	File
	AIB.MorP.SPA

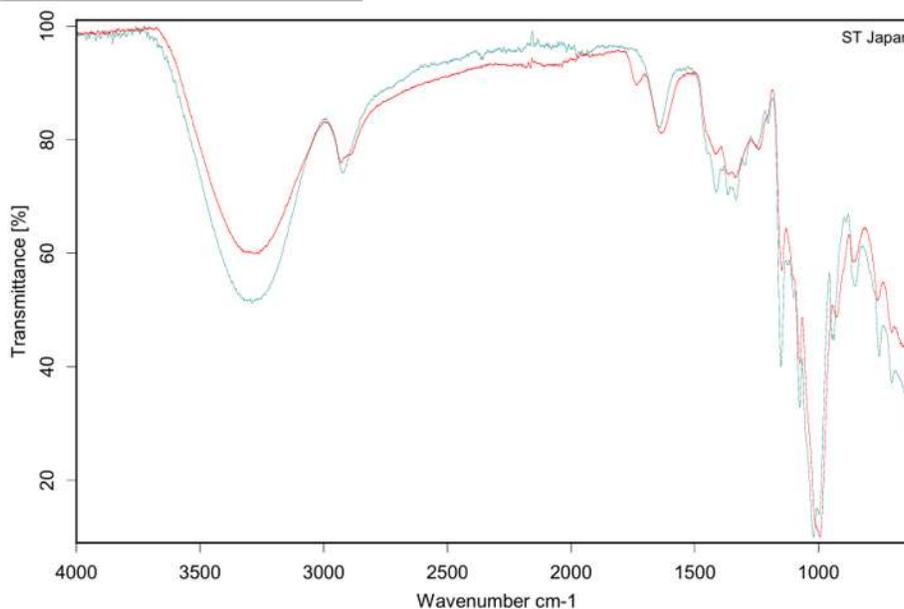
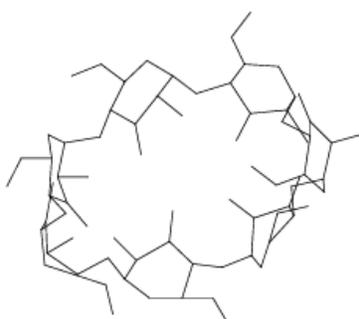


Figura 43. Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P) (AIB.MorP) comparándolos con las bandas características de B-Cyclodextrin a partir de una base de datos.



Compound Name	B-CYCLODEXTRIN
Molecular Formula	C42H70O35
Molecular Weight	1135
CAS Registry Number	7585-39-9
Other Names	CYCLOHEPTAAMYLOSE B-SCHARDINGER DEXT
Sample Preparation	ATR single bounce
Reference	J05831/ A02864
Copyright	(c) 2014 STJapan Inc.
Entry No.	2125
Library name	ATR-LIB-COMLETE-1-482-2.S01

En la ficha técnica anterior se muestra los datos de cyclodextrin que es una de las sustancias presentes en el almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P), dada la similitud que existe en las bandas y la morfología del espectro se puede deducir que el almidón obtenido presenta un alto contenido de cyclodextrin.

Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P) (AIB.MorP) comparándolos con las bandas características de la Amilopectina a partir de la base de datos ART-LIB-COMPLETE-2-482-2.S01

Color	Hit Quality	Compound name	CAS Number	Molecular formula	Molecular weight
	625	AMYLOPECTINE	9037-22-3		

Color	File
	AIB.MorP.SPA

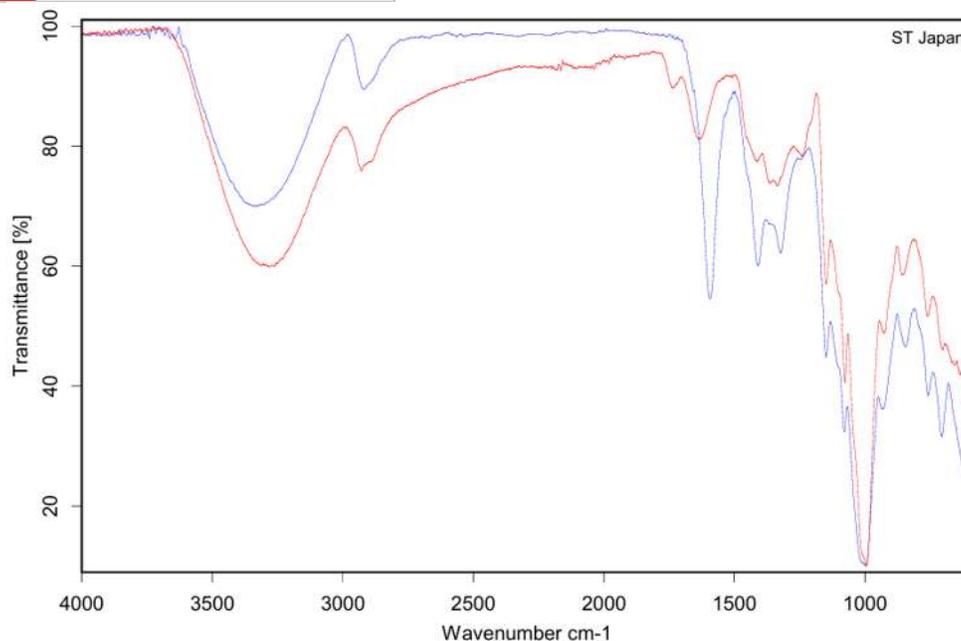


Figura 44. Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P) (AIB.MorP) comparándolos con las bandas característicos de la Amilopectina a partir de una base de datos.

Compound Name	AMYLOPECTINE
Molecular Formula	
Molecular Weight	
CAS Registry Number	9037-22-3
Sample Preparation	ATR single bounce
Comment	emulsifier natural based
Reference	MP0422/ NIC08820
Copyright	(c) 2014 Nicodrom
Entry No.	3166
Library name	ATR-LIB-COMPLETE-2-482-2.S01

En la ficha técnica anterior se muestra los datos de la sustancia amilopectina que es una de las sustancias presentes en el almidón de *Ipomoea Batata* Morado (P), dada la similitud que existe en las bandas y la morfología del espectro se puede deducir que el almidón obtenido presenta un alto contenido de amilopectina.

Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P) (AIB.MorP) comparándolos con las bandas características del Starch-Corn -por su fórmula química (C₆H₁₀O₅)- a partir de la base de datos ART-LIB-COMPLETE-2-482-2.S01

Color	Hit Quality	Compound name	CAS Number	Molecular formula	Molecular weight
	625	STARCH (CORN)	9005-25-8	(C ₆ H ₁₀ O ₅) _n	

Color	File
	AIB.MorP.SPA

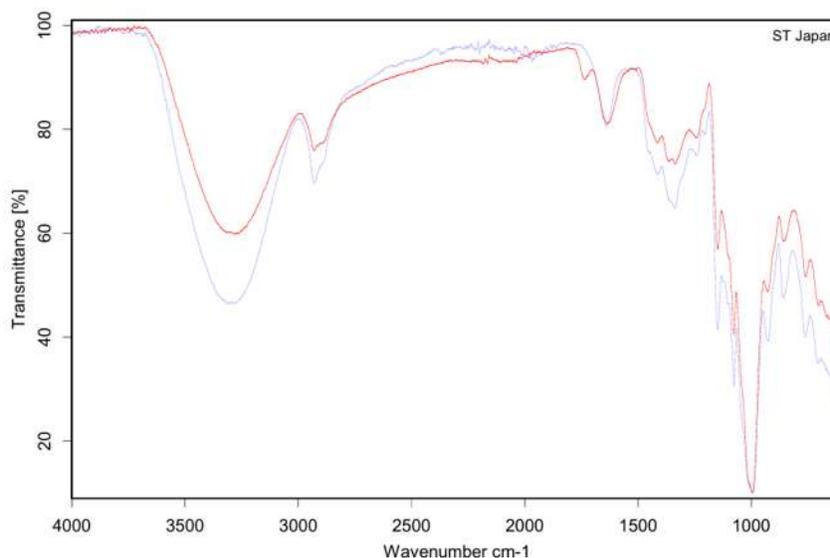


Figura 45. Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P) (AIB.MorP) comparándolos con las bandas características del Almidón de maíz a partir de una base de datos.

Compound Name	STARCH (CORN)
Molecular Formula	(C ₆ H ₁₀ O ₅) _n
Molecular Weight	
CAS Registry Number	9005-25-8
Sample Preparation	ATR single bounce
Reference	J02744/ A02706
Copyright	(c) 2014 STJapan Inc.
Entry No.	2019
Library name	ATR-LIB-COMPLETE-1-482-2.S01
Library description	ATR-FTIR-Library COMPLETE, Vol. 1

En la ficha técnica anterior se muestra los datos del Starch-Corn -por su fórmula química (C₆H₁₀O₅)- que es una de las sustancias presentes en el almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P), dada la similitud que existe en las bandas y la morfología del espectro se puede deducir que el almidón obtenido presenta un alto contenido de del Starch-Corn.

Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S) (AIB.MorS) comparándolos con las bandas características de la Amilopectina a partir de la base de datos ART-LIB-COMPLETE-2-482-2.S01

Color	Hit Quality	Compound name	CAS Number	Molecular formula	Molecular weight
	431	AMYLOPECTINE	9037-22-3		

Color	File
	AIB.MorS.SPA

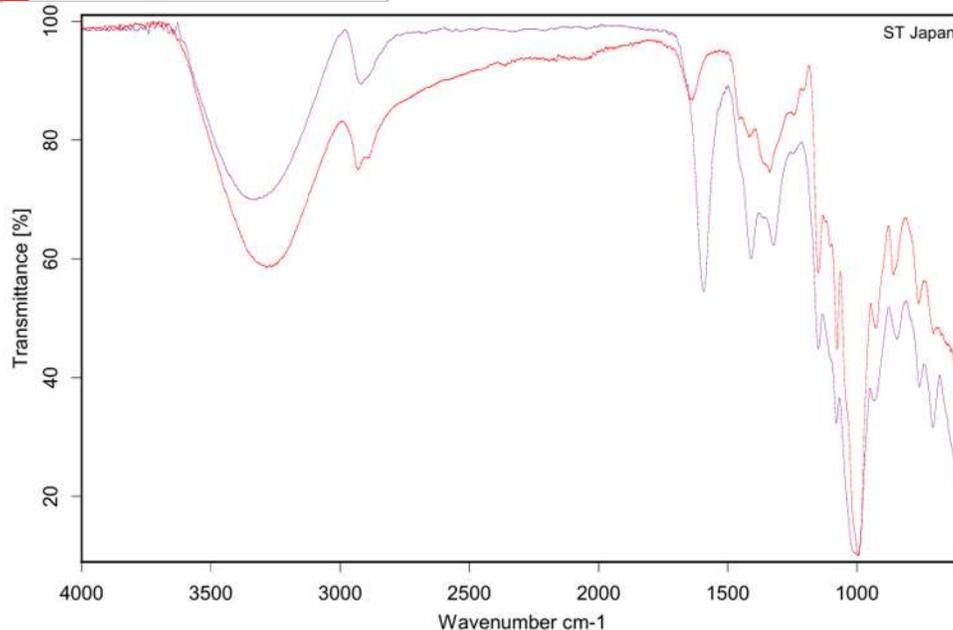


Figura 46. Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S) (AIB.MorS) comparándolos con las bandas característicos de la Amilopectina a partir de una base de datos.

Compound Name	AMYLOPECTINE
Molecular Formula	
Molecular Weight	
CAS Registry Number	9037-22-3
Sample Preparation	ATR single bounce
Comment	emulsifier natural based
Reference	MP0422/ NIC08820
Copyright	(c) 2014 Nicodm
Entry No.	3166
Library name	ATR-LIB-COMPLETE-2-482-2.S01

En la ficha técnica anterior se muestra los datos de la sustancia amilopectina que es una de las sustancias presentes en el almidón de *Ipomoea Batata* Morado (S), dada la similitud que existe en las bandas y la morfología del espectro se puede deducir que el almidón obtenido presenta un alto contenido de amilopectina.

Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S) (AIB.MorS) comparándolos con las bandas características de cyclodextrin -por el nombre alterno del compuesto cycloheptaamylose- a partir de la base de datos ART-LIB-COMLETE-2-482-2.S01

Color	Hit Quality	Compound name	CAS Number	Molecular formula	Molecular weight
	840	B-CYCLODEXTRIN	7585-39-9	C42H70O35	1135

Color	File
	AIB.MorS.SPA

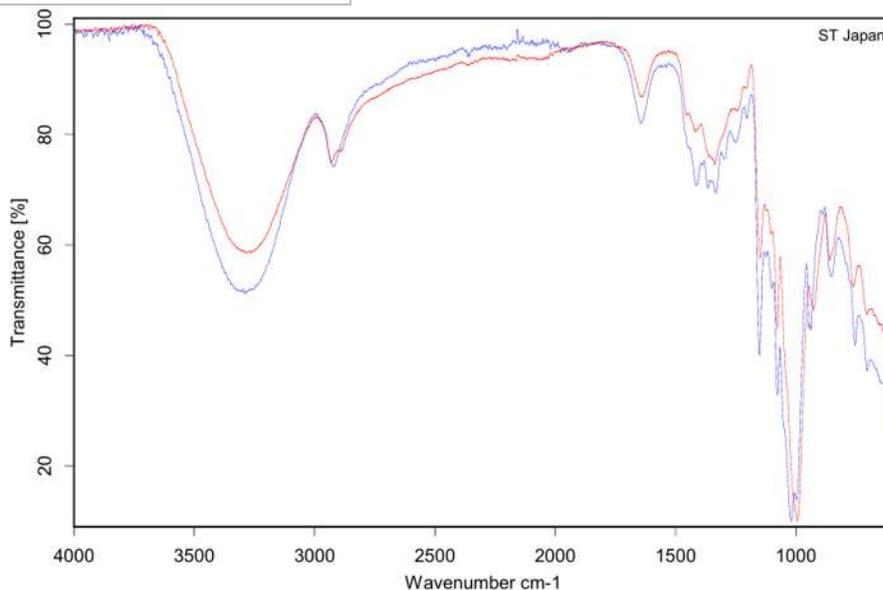
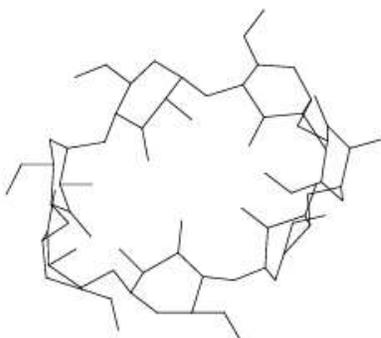


Figura 47. Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S) (AIB.MorS) comparándolos con las bandas característicos del B-Cyclodextrin a partir de una base de datos.



Compound Name	B-CYCLODEXTRIN
Molecular Formula	C42H70O35
Molecular Weight	1135
CAS Registry Number	7585-39-9
Other Names	CYCLOHEPTAAMYLOSE B-SCHARDINGER DEXT
Sample Preparation	ATR single bounce
Reference	J05831/ A02864
Copyright	(c) 2014 STJapan Inc.
Entry No.	2125
Library name	ATR-LIB-COMLETE-1-482-2.S01

En la ficha técnica anterior se muestra los datos de cyclodextrin que es una de las sustancias presentes en el almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S), dada la similitud que existe en las bandas y la morfología del espectro se puede deducir que el almidón obtenido presenta un alto contenido de cyclodextrin.

Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (PS (AIB.MorS)) comparándolos con las bandas características de maltopentaose por su fórmula química $C_{30}H_{52}O_{26}$ a partir de la base de datos ART-LIB-COMLETE-2-482-2.S01.

Color	Hit Quality	Compound name	CAS Number	Molecular formula	Molecular weight
	911	MALTOPENTAOSE	34620-76-3	C30H52O26	

Color	File
	AIB.MorS.SPA

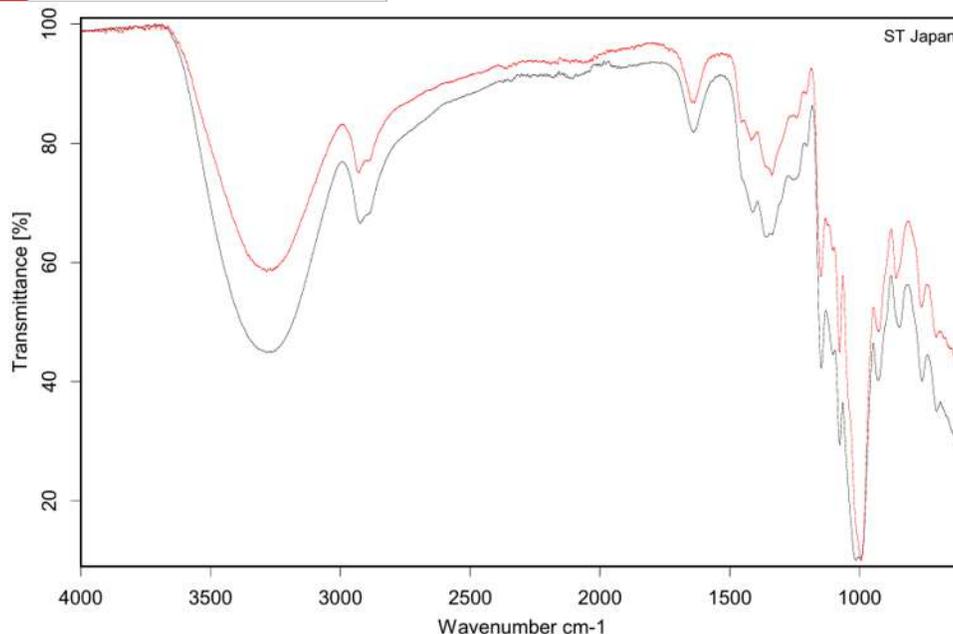
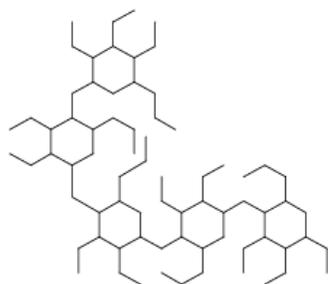


Figura 48. Comparación de las bandas de la muestra de Almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S) (AIB.MorS) comparándolos con las bandas característicos de Maltopentaose a partir de una base de datos.



Compound Name	MALTOPENTAOSE
Molecular Formula	C30H52O26
Molecular Weight	828.72
CAS Registry Number	34620-76-3
Sample Preparation	ATR single bounce
Manufacturer	Wako
Reference	WAK02120/ WAK02120
Copyright	(c) 2017 STJapan Inc.
Entry No.	600
Library name	ATR-LIB-COMLETE-0-532-2.S01

En la ficha técnica anterior se muestra los datos de la sustancia maltopentaose por su fórmula química $C_{30}H_{52}O_{26}$ que es una de las sustancias presentes en el almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S), dada la similitud que existe en las bandas y la morfología del espectro se puede deducir que el almidón obtenido presenta un alto contenido de maltopentaose por su fórmula química $C_{30}H_{52}O_{26}$.

Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S) (AIB.MorS) comparándolos con las bandas características del Starch-Corn -por su fórmula química (C₆H₁₀O₅)- a partir de la base de datos ART-LIB-COMPLETE-2-482-2.S01

Color	Hit Quality	Compound name	CAS Number	Molecular formula	Molecular weight
	980	STARCH (CORN)	9005-25-8	(C ₆ H ₁₀ O ₅)	

Color	File
	AIB.MorS.SPA

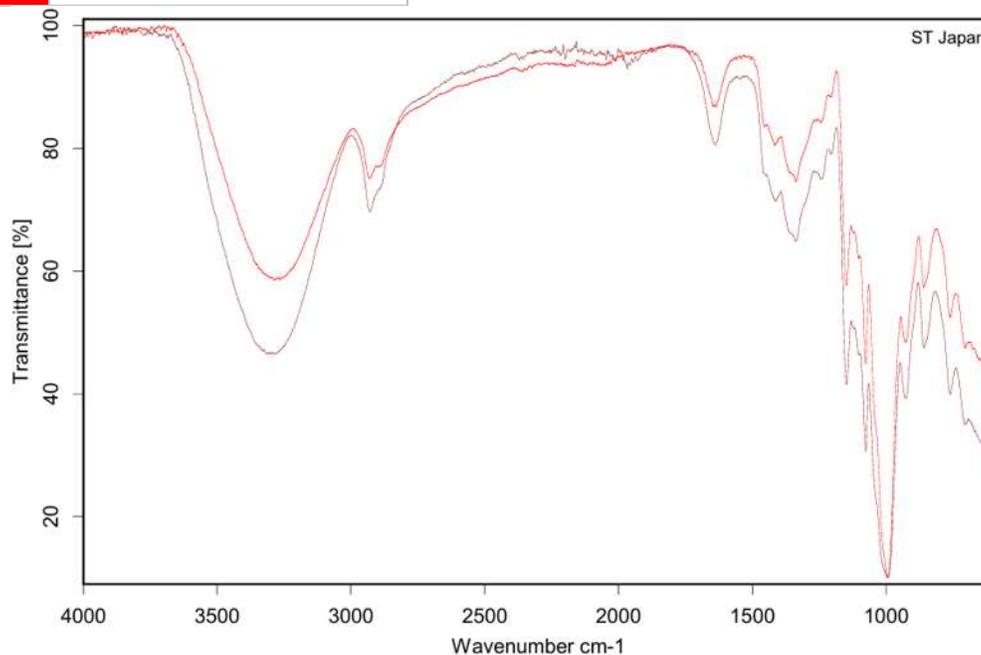


Figura 49. Comparación de las bandas obtenidas de la muestra de Almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S) (AIB.MorS) comparándolos con las bandas característicos del almidón de maíz a partir de una base de datos.

Compound Name	STARCH (CORN)
Molecular Formula	(C ₆ H ₁₀ O ₅) _n
Molecular Weight	
CAS Registry Number	9005-25-8
Sample Preparation	ATR single bounce
Reference	J02744/ A02706
Copyright	(c) 2014 STJapan Inc.
Entry No.	2019
Library name	ATR-LIB-COMPLETE-1-482-2.S01
Library description	ATR-FTIR-Library COMPLETE, Vol. 1

En la ficha técnica anterior se muestra los datos del Starch-Corn -por su fórmula química (C₆H₁₀O₅)- que es una de las sustancias presentes en el almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S), dada la similitud que existe en las bandas y la morfología del espectro se puede deducir que el almidón obtenido presenta un alto contenido de del Starch-Corn.

Caracterización del almidón de *Ipomoea Batatas* por medio de la Microscopia Electrónica de Barrido (MEB)

En la Figura 50 se muestra el estudio de Microscopia Electrónica de Barrido del almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (P) (AIB.ManP) a x500 y a x1,000. En la cual, se observan partículas esféricas irregulares de diferentes tamaños que van de entre 6 y 10 μm de diámetro.

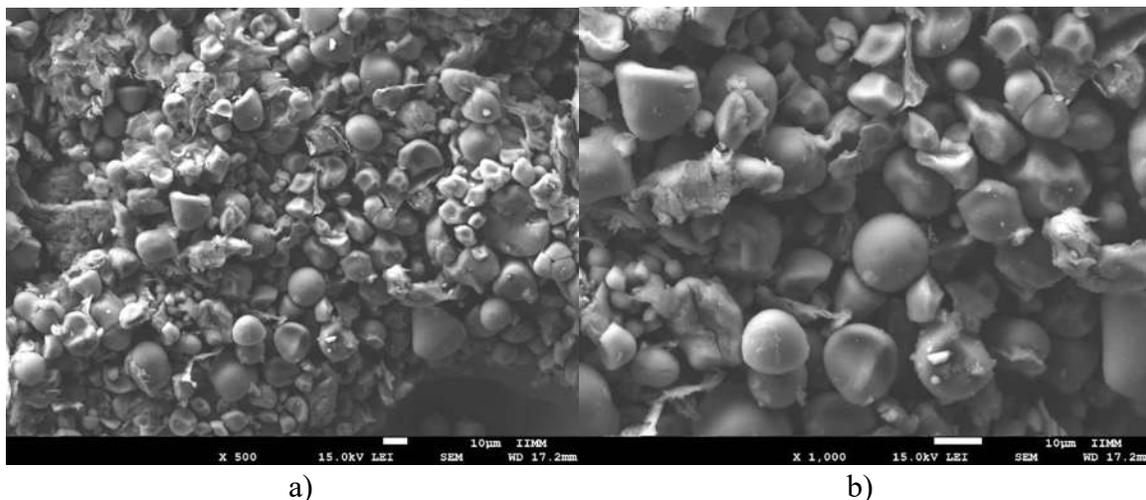


Figura 50. Microscopia Electrónica de Barrido del almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (P) (AIB.ManP) a) x500, b)x1,000. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 51 se muestra el estudio de Microscopia Electrónica de Barrido del almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (S) (AIB.ManS) a x500 y a x1,000. En la cual, se observan partículas esféricas irregulares de diferentes tamaños que van de entre 6 y 10 μm de diámetro.

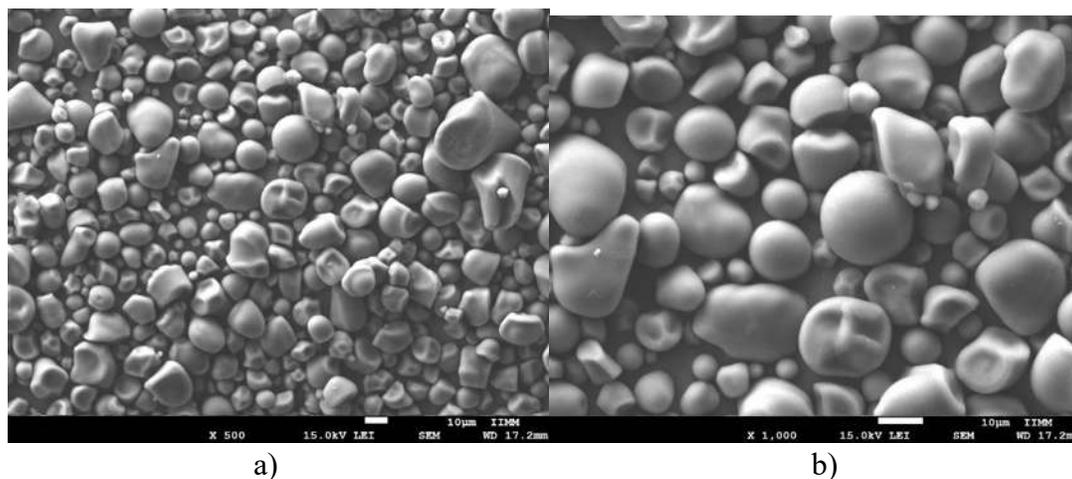


Figura 51. Microscopia Electrónica de Barrido del almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (S) (AIB.ManS). a) x500, b)x1,000. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 52 se muestra el estudio de Microscopia Electrónica de Barrido del almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (P) (AIB.BlaP) a x500 y a x1,000. En la cual, se observan partículas esféricas irregulares de diferentes tamaños que van de entre 6 y 10 μm de diámetro.

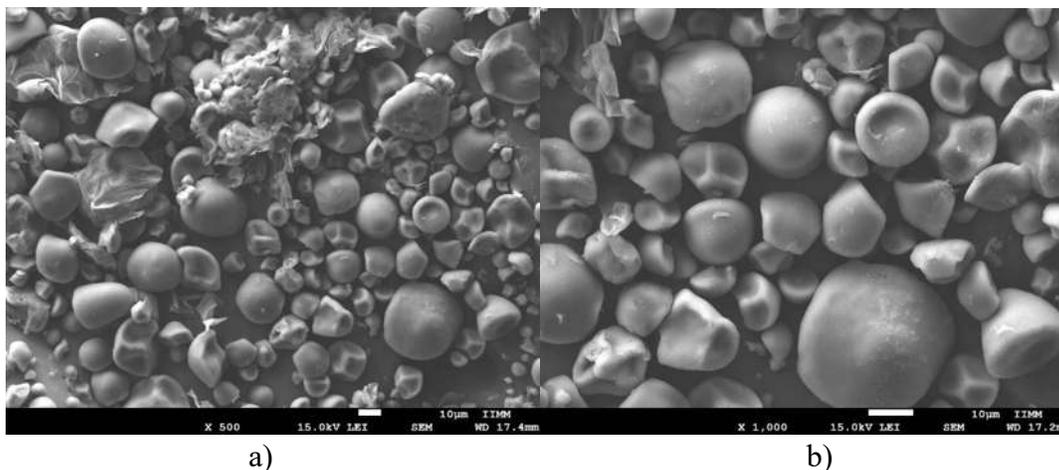


Figura 52. Microscopia Electrónica de Barrido del almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (P) (AIB.BlaP). a) x500, b)x1,000. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 53 se muestra el estudio de Microscopia Electrónica de Barrido del almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (S) (AIB.BlaS) a x500 y a x1,000. En la cual, se observan partículas esféricas irregulares de diferentes tamaños que van de entre 6 y 10 μm de diámetro.

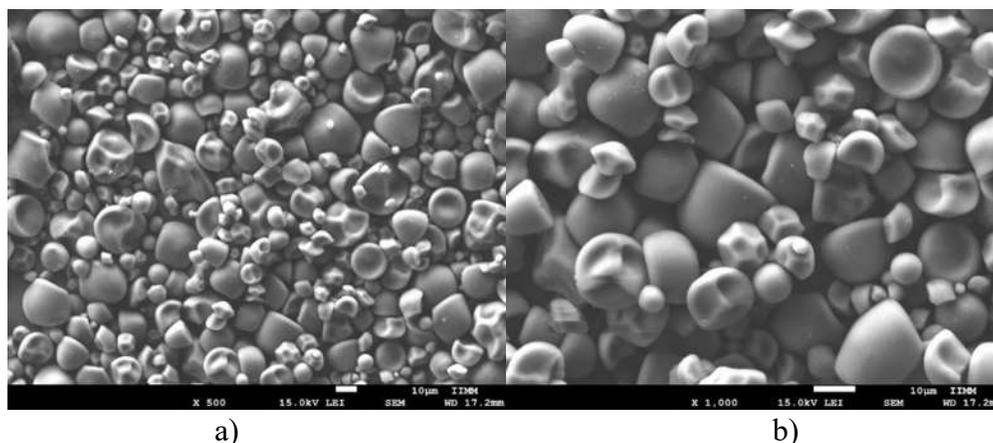
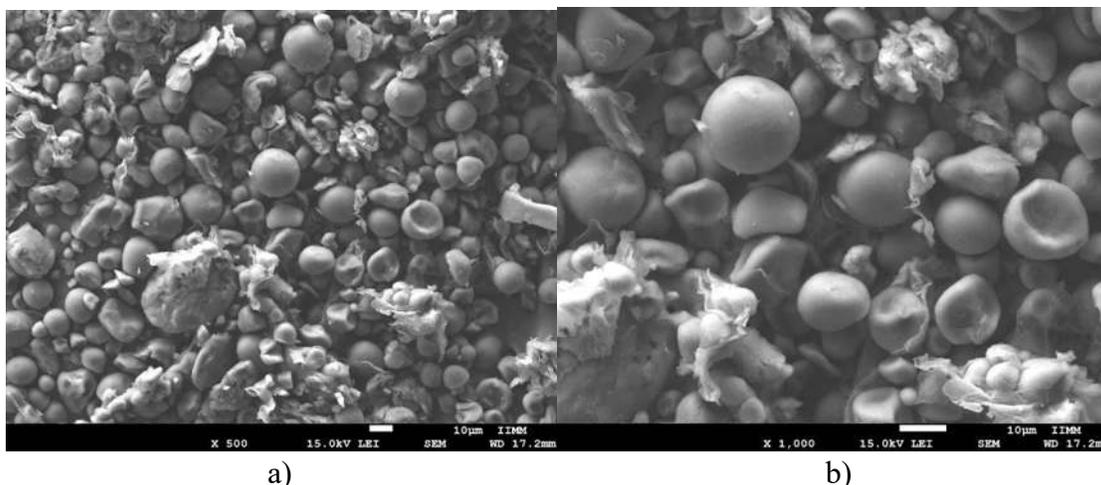


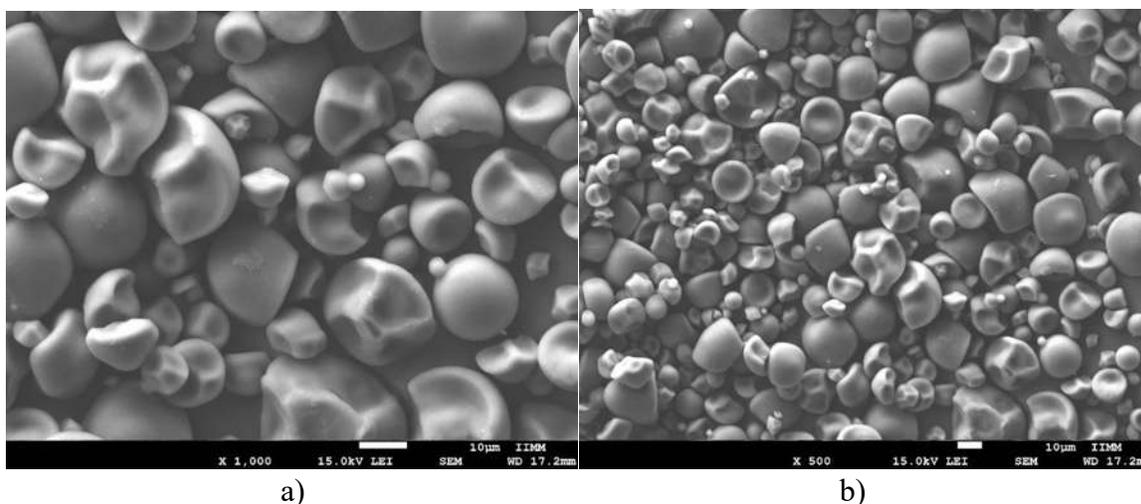
Figura 53. Microscopia Electrónica de Barrido del almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (S) (AIB.BlaS). a) x500, b)x1,000. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 54 se muestra el estudio de Microscopia Electrónica de Barrido del almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P) (AIB.MorP) a x500 y a x1,000. En la cual, se observan partículas esféricas irregulares de diferentes tamaños que van de entre 6 y 10 μm de diámetro.



a) b)
Figura 54. Microscopia Electrónica de Barrido del almidón de *Ipomoea Batatas Morado* (P) (AIB.MorP) (AC.MorP). a) x500, b)x1,000. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 55 se muestra el estudio de Microscopia Electrónica de Barrido d del almidón de *Ipomoea Batatas Morado* (S) (AIB.MorS) a x500 y a x1,000. En la cual, se observan partículas esféricas irregulares de diferentes tamaños que van de entre 6 y 10 µm de diámetro.



a) b)
Figura 55. Microscopia Electrónica de Barrido del almidón de *Ipomoea Batatas Morado* (S) (AIB.MorS) a) x500, b)x1,000. Fuente: Elaboración propia.

En términos generales, los almidones obtenidos de: Almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (P) (AIB.ManP), Almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (S) (AIB.ManP) Almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (P) (AIB.BlaP), Almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (S) (AIB.BlaS), Almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P) (AIB.MorP), Almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S) (AIB.MorS),

Presentan una morfología esférica irregular con tamaños que varían de 6 a 10 µm de diámetro y que de acuerdo a la literatura referente a almidones de maíz arroz, papa presentan la misma morfología y el tamaño se encuentra también dentro del rango de lo reportado por diversos autores.

Caracterización de las películas de hidrogel

Las películas de hidrogel que fueron seleccionadas para la realización de las caracterizaciones fueron las películas que se indican en la Tabla 6, las cuales, son películas que cumplen con características como las siguientes:

- El proceso de síntesis ha sido estandarizado y es replicable
- El aspecto es el deseado
- No sufrieron ningún tipo de contaminación visible

Las películas de hidrogel que fueron analizadas fueron: Película de Almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (P) (AIB.ManP), b) Película de Almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (S) (AIB.ManS), c) Película de Almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (P) (AIB.BlaP), d) Película de Almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (S) (AIB.BlaS), e) Película de Almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P) (AIB.MorP), f) Película de Almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S) (AIB.MorS).

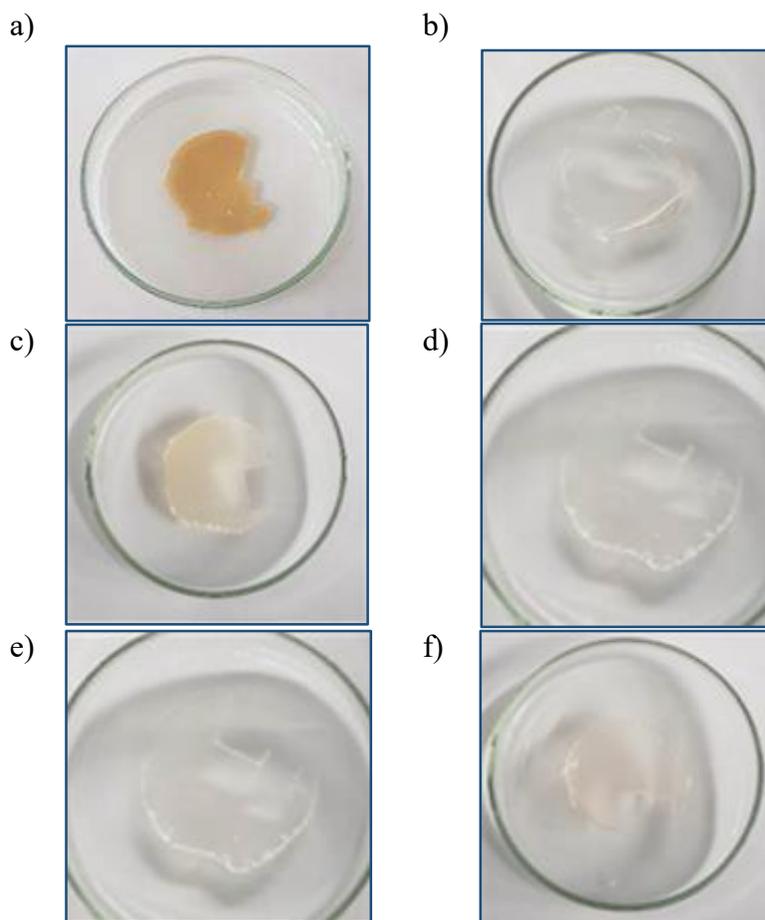


Figura 56. Películas de hidrogel de: a) Almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (P) (AIB.ManP), b) Almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (S) (AIB.ManS), c) Almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (P) (AIB.BlaP), d) Almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (S) (AIB.BlaS), e) Almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P) (AIB.MorP), f) Almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S) (AIB.MorS).
Fuente: Elaboración propia.

Caracterización de las películas de hidrogel

Se prepararon muestras de las películas de hidrogel cortando cuadros de 0.5 cm x 0.5 cm y se mantuvieron en un horno a temperatura constante de 60° C para disminuir la humedad para así realizar la caracterización de las películas de hidrogel por medio de las técnicas analíticas de Difracción de Rayos X (DRX), Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FT-IR) y Microscopia Electrónica de Barrido (MEB).

Caracterización de las películas de hidrogel por medio de la técnica analítica de Difracción de Rayos X (DRX)

En la Figura 57 se muestran los patrones de Difracción de Rayos X (DRX) de las películas de Hidrogel de: Almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (P) (AIB.ManP), Almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (S) (AIB.ManS), Almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (P) (AIB.BlaP), Almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (S) (AIB.BlaS), Almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P) (AIB.MorP), Almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S) (AIB.MorS). Los cuales presentan un patrón similar entre ellos, lo cual nos indica homogeneidad.

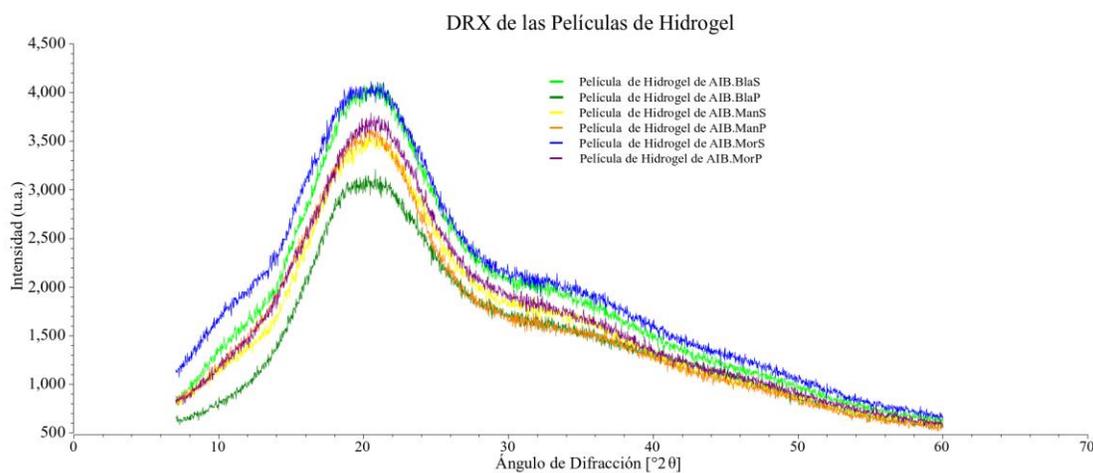


Figura 57. Diffractogramas obtenidos de las películas de hidrogel de: Almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (P) (AIB.ManP), Almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (S) (AIB.ManS), Almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (P) (AIB.BlaP), Almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (S) (AIB.BlaS), Almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P) (AIB.MorP), Almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S) (AIB.MorS). Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 58 se observan los diffractogramas obtenidos de las películas de hidrogel de: Almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (P) (AIB.ManP), Almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (S) (AIB.ManS), la cual muestra que no se obtienen picos de difracción definidos, sólo se muestra un pico amplio a $2\theta = 20.5^\circ$. El difracto grama de los hidrogeles muestra una estructura amorfa característica de un sistema desorganizado como lo indica Rodrigues et al., (2024).

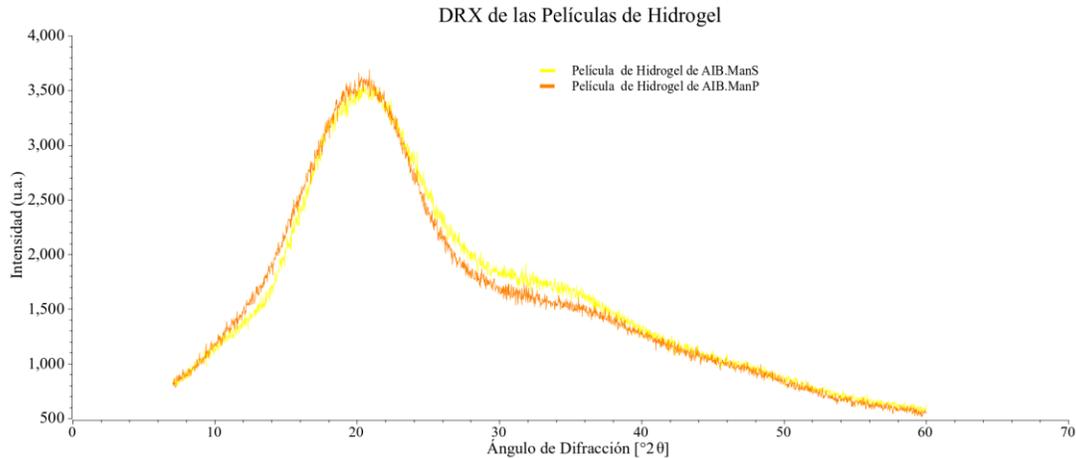


Figura 58. Difractogramas obtenidos de las películas de Hidrogel de: Almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (P) (AIB.ManP), Almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (S) (AIB.ManS). Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 59 se observan los difractogramas obtenidos de las películas de hidrogel de: Almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (P) (AIB.BlaP), Almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (S) (AIB.BlaS), la cual muestra que no se obtienen picos de difracción definidos, sólo se muestra un pico amplio a $2\theta = 20.5^\circ$. El difracto grama de los hidrogeles muestra una estructura amorfa característica de un sistema desorganizado como lo indica Rodrigues et al., (2024).

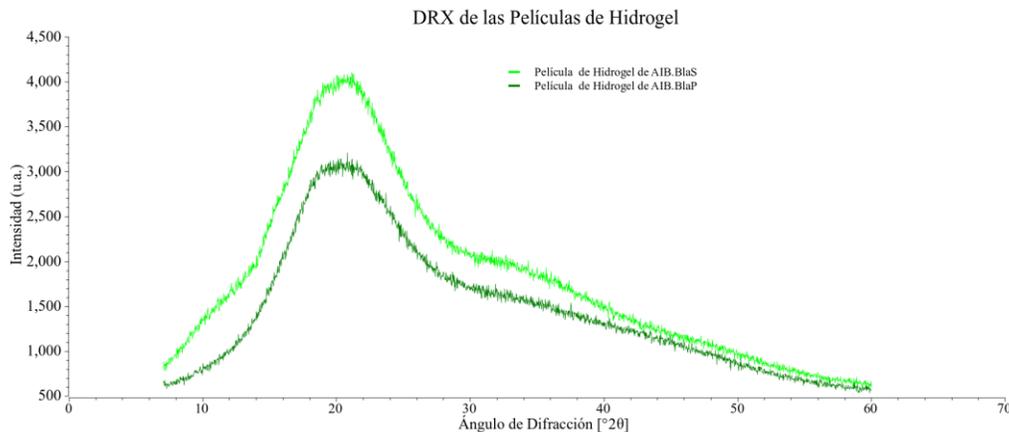


Figura 59. Difractogramas obtenidos de las películas de Hidrogel de: Almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (P) (AIB.BlaP), Almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (S) (AIB.BlaS). Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 60 se observan los difractogramas obtenidos de las películas de hidrogel de: Almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P) (AIB.MorP), Almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S) (AIB.MorS), la cual muestra que no se obtienen picos de difracción definidos, sólo se muestra un pico amplio a $2\theta = 20.5^\circ$. El difracto grama de los hidrogeles muestra una estructura amorfa característica de un sistema desorganizado como lo indica Rodrigues et al., (2024).

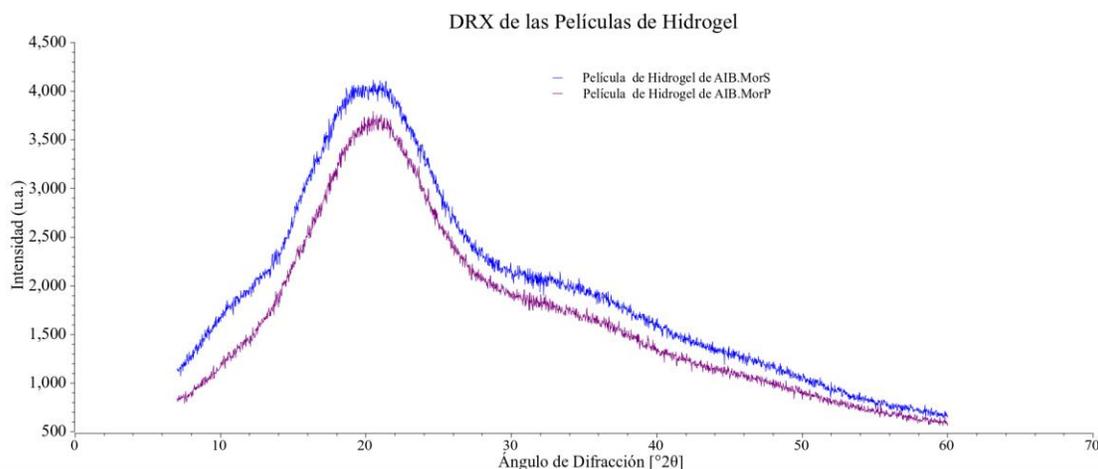


Figura 60. Difractogramas obtenidos de las películas de Hidrogel de: Almidón de *Ipomoea* Batatas Morado (P) (AIB.MorP), Almidón de *Ipomoea* Batatas Morado (S) (AIB.MorS). Fuente: Elaboración propia.

Caracterización de las películas de hidrogel por medio de la técnica analítica de Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FT-IR)

Los espectros obtenidos al realizar la caracterización por medio de la técnica analítica de FT-IR que se realizaron a las películas de hidrogel seleccionadas que se indican en la Tabla 6 se muestran a continuación:

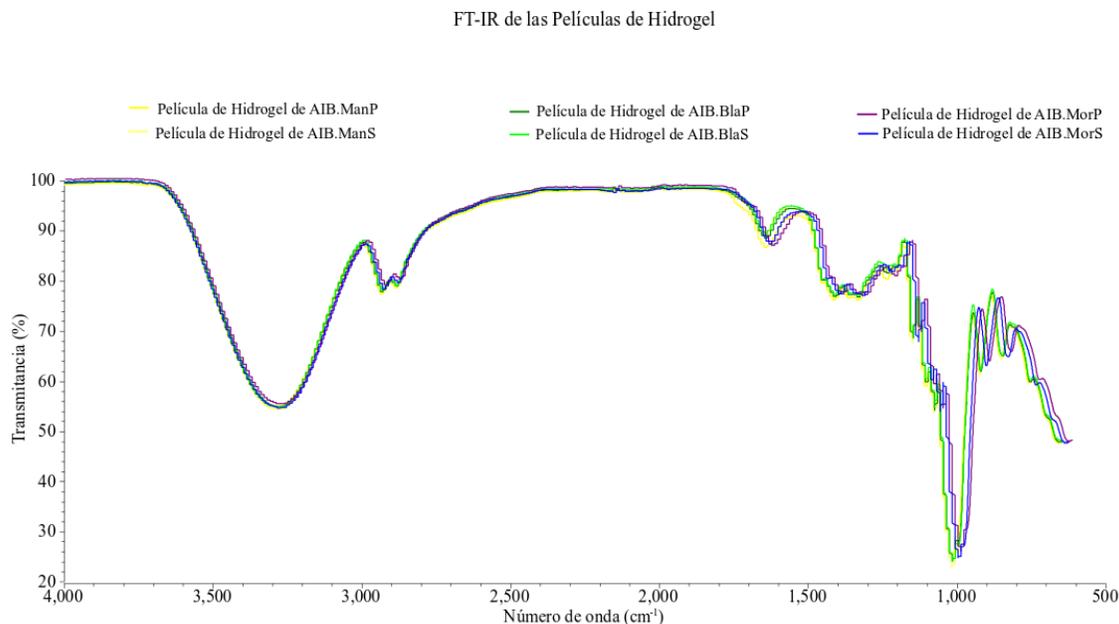


Figura 61. Bandas características obtenidas de las películas de hidrogel de: Almidón de *Ipomoea* Batatas Mantequilla (P) (AIB.ManP), Almidón de *Ipomoea* Batatas Mantequilla (S) (AIB.ManS), Almidón de *Ipomoea* Batatas Blanco (P) (AIB.BlaP), Almidón de *Ipomoea* Batatas Blanco (S) (AIB.BlaS), Almidón de *Ipomoea* Batatas Morado (P) (AIB.MorP), Almidón de *Ipomoea* Batatas Morado (S) (AIB.MorS). Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 62 se muestra las bandas obtenidas del análisis de FT-IR de las películas de hidrogel a base de almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (P) (AIB.ManP); el análisis de FT-IR de las películas de hidrogel a base de almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (S) (AIB.ManS), con bandas en la señal de 3300 (O-H), 2931 (C-H), 2877, 1418(CH₂), 1338 (O-H), 1158 (C-O-C), 1017 (O-H) cm^{-1} , así como lo indica el artículo “Synthesis and characterization of clay nanocomposites based on starch” (Rosendo-González et al., 2019).

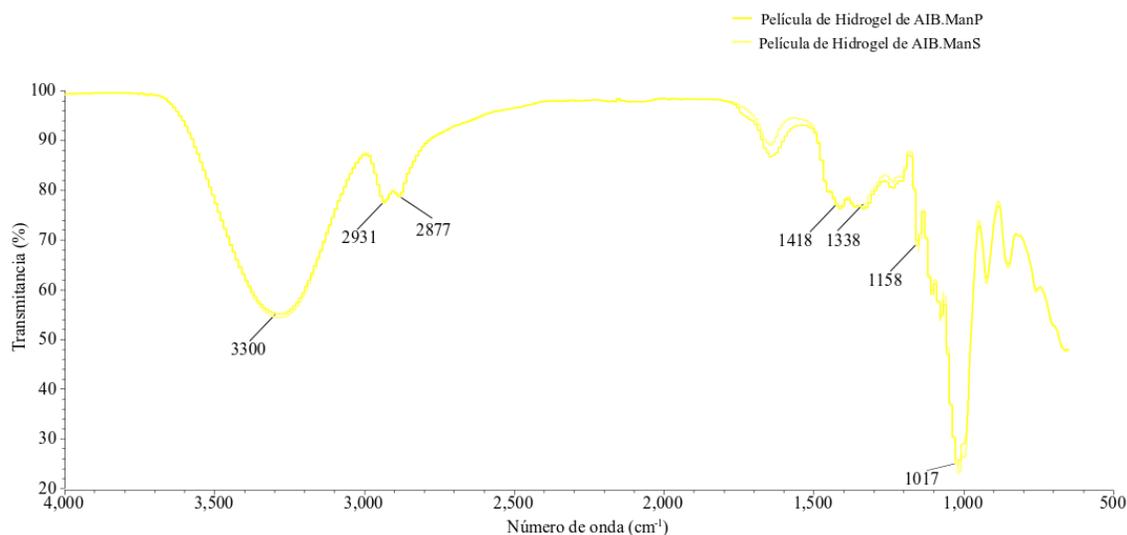


Figura 62. Bandas características obtenidas de las películas de Hidrogel de: Almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (P) (AIB.ManP), Almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (S) (AIB.ManS).

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 63 se muestra las bandas obtenidas del análisis de FT-IR de las películas de hidrogel a base de almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (P) (AIB.ManP); el análisis de FT-IR de las películas de hidrogel a base de almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (S) (AIB.ManS), con bandas en la señal de 3300 (O-H), 2931 (C-H), 2877, 1418(CH₂), 1338 (O-H), 1158 (C-O-C), 1017 (O-H) cm^{-1} , así como lo indica el artículo “Synthesis and characterization of clay nanocomposites based on starch” (Rosendo-González et al., 2019).

SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN HIDROGEL A BASE DE ALMIDÓN DE *IPOMOEA* BATATAS PARA USO EN INGENIERÍA TISULAR

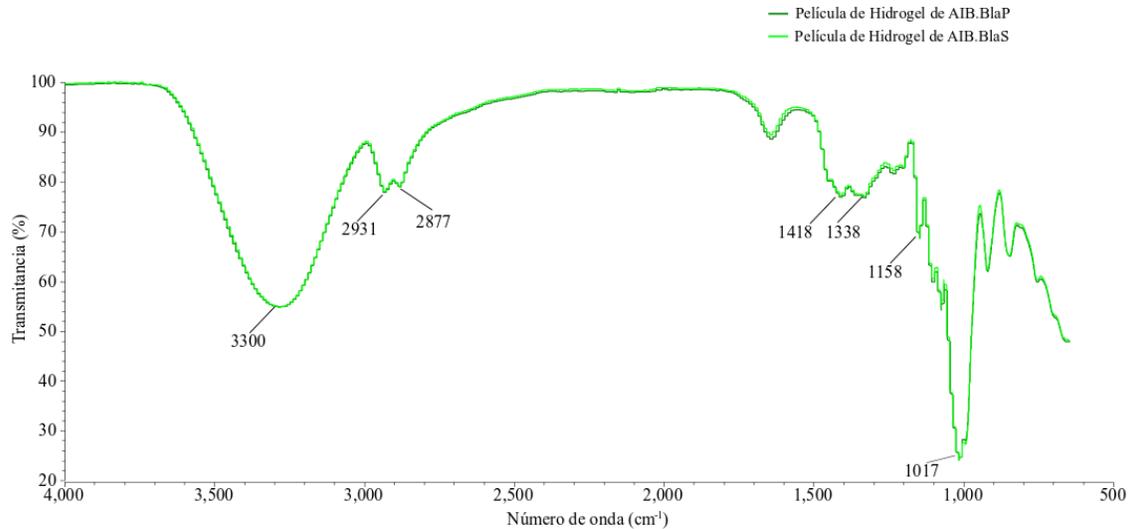


Figura 63. Bandas características obtenidas de las películas de Hidrogel de: Almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (P) (AIB.BlaP), Almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (S) (AIB.BlaS). Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 64 se muestra las bandas obtenidas del análisis de FT-IR de las películas de hidrogel a base de almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P) (AIB.ManP); el análisis de FT-IR de las películas de hidrogel a base de almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S) (AIB.ManS), con bandas en la señal de 3300(O-H), 2931(C-H), 2877, 1418(CH₂), 1338(O-H), 1158(C-O-C), 1017(O-H) cm^{-1} , así como lo indica el artículo “Synthesis and characterization of clay nanocomposites based on starch” (Rosendo-González et al., 2019).

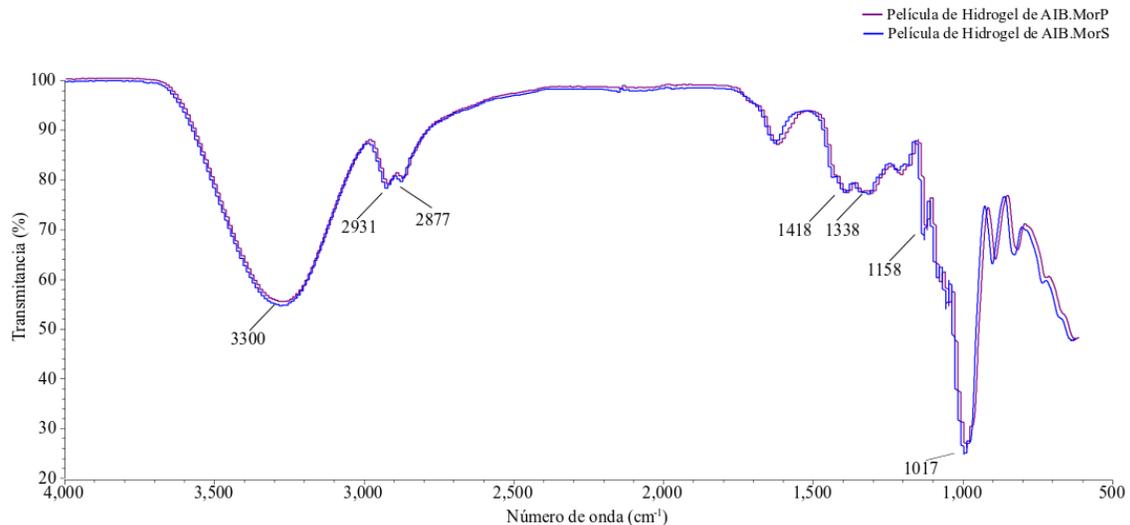


Figura 64. Bandas características obtenidas de las películas de Hidrogel de: Almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P) (AIB.MorP), Almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S) (AIB.MorS). Fuente: Elaboración propia.

Caracterización de las películas de hidrogel por medio de Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)

La Figura 65 muestra la superficie y el área de corte de la película de hidrogel a base del almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (P) (AIB.BlaP). Se observa una distribución uniforme libre de aglomeraciones lo que indica que la solución fue homogénea, se identifica una superficie lisa comúnmente observada en los polímeros (Figura 65.a), en la Figura 65.b se presenta un área cercana al corte en la cual se observan zonas irregulares debido al desgarre producido a la herramienta del corte del polímero.

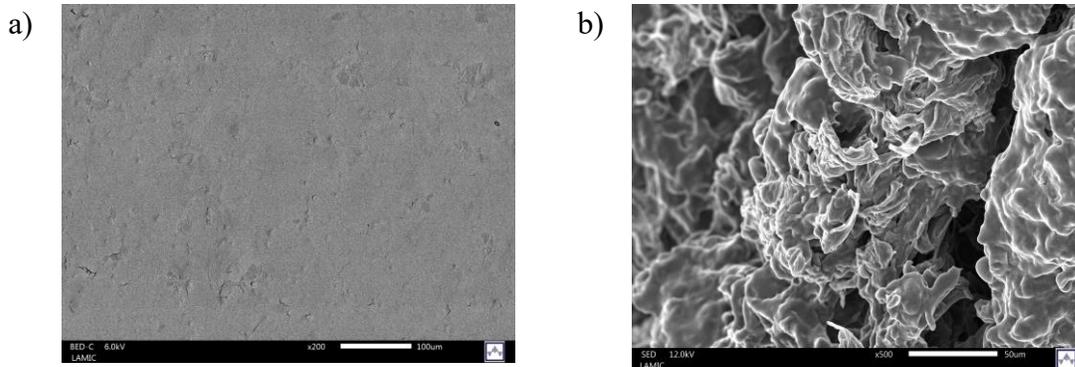


Figura 65. a) Superficie de la película de hidrogel de almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (P) (AIB.BlaP) a x200, b) Sección del corte de la película de hidrogel de almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (P) (AIB.BlaP) a x500. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 66 muestra la superficie y el área de corte de la película de hidrogel a base del almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (S) (AIB.BlaS). Se observa una distribución uniforme libre de aglomeraciones lo que indica que la solución fue homogénea con posibilidad de contaminación externa, se identifica una superficie lisa comúnmente observada en los polímeros (Figura 66.a), en la Figura 66.b, se presenta un área cercana al corte en la cual se observan zonas irregulares debido al desgarre producido a la herramienta del corte del polímero, se aprecia porosidad y partículas esféricas definidas.

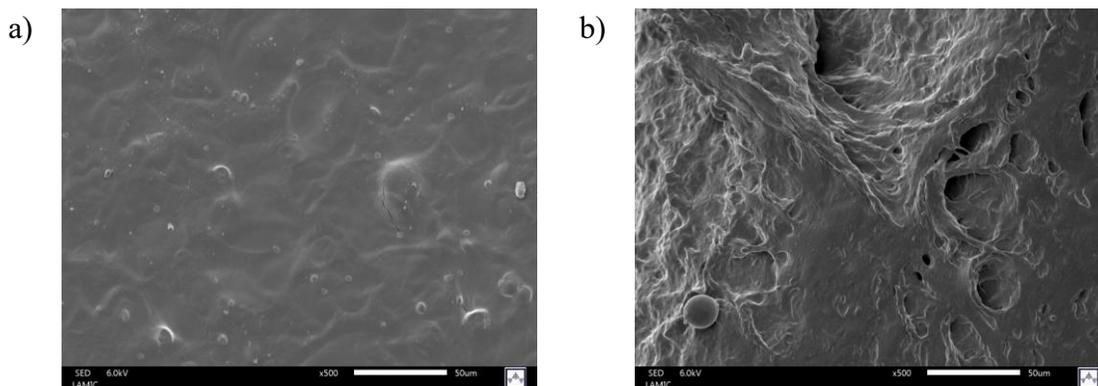


Figura 66. a) Superficie de la película de hidrogel de almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (S) (AIB.BlaS) a x500, b) Sección del corte de la película de hidrogel de almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (P) (AIB.BlaS) a x500. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 67 muestra la superficie y el área de corte de la película de hidrogel a base del almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P) (AIB.MorP). Se observa una distribución uniforme libre de aglomeraciones lo que indica que la solución fue homogénea, se identifica una superficie lisa comúnmente observada en los polímeros (Figura 67.a), en la Figura 67.b se presenta un área cercana al corte en la cual se observan zonas irregulares debido al desgarre producido a la herramienta del corte del polímero.

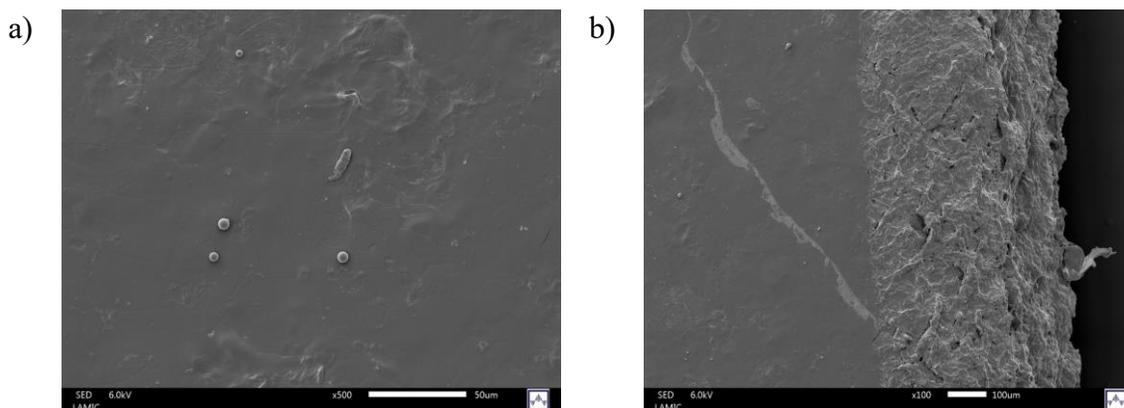


Figura 67. a) Superficie de la película de hidrogel de almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P) (AIB.MorP) a x500, b) Sección del corte de la película de hidrogel de almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P) (AIB.MorP) a x100. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 68 muestra la superficie y el área de corte de la película de hidrogel a base del almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P) (AIB.MorP). Se observa una distribución uniforme libre de aglomeraciones lo que indica que la solución fue homogénea, se identifica una superficie lisa comúnmente observada en los polímeros (Figura 68.a), en la Figura 68.b se presenta un área cercana al corte en la cual se observan zonas irregulares debido al desgarre producido a la herramienta del corte del polímero.

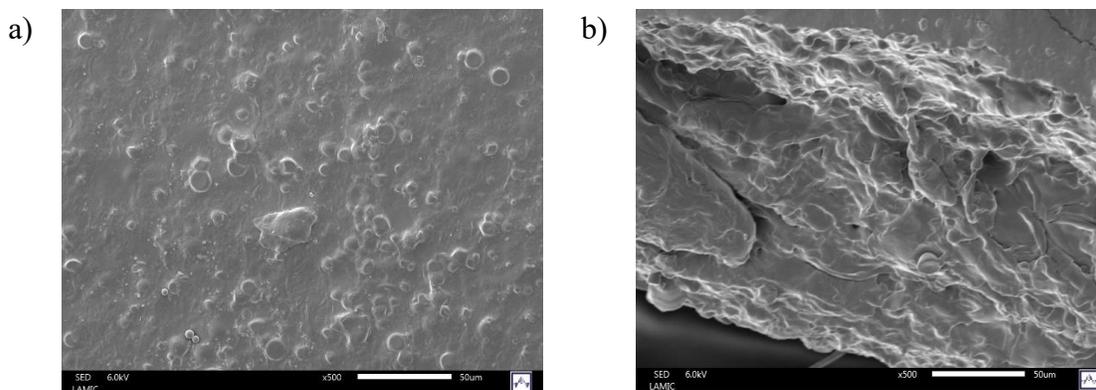


Figura 68. a) Superficie de la película de hidrogel de almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S) (AIB.MorS) a x500, b) Sección del corte de la película de hidrogel de almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S) (AIB.MorS) a x500. Fuente: Elaboración propia.

Las imágenes obtenidas presentan una amplia similitud a las que reporta en el artículo “Starch hydrogels: The influence of the amylose content and gelatinization method” (Biduski et al., 2018), en el cual se pueden apreciar las superficies de las muestras al igual que las secciones en donde se realizó el corte.

Estudios adicionales

Comparación de los resultados de las caracterizaciones de Difracción de Rayos X (DRX) de las muestras de los almidones con los resultados obtenidos de las caracterizaciones de Difracción de Rayos X (DRX) de las películas de hidrogel

Se realizó la comparación de los resultados obtenidos de las caracterizaciones de Difracción de Rayos X (DRX) de las muestras de los almidones con los resultados obtenidos de las caracterizaciones de Difracción de Rayos X (DRX) de las películas de hidrogel obteniendo los siguientes resultados:

En la Figura 69 se muestra la Comparación de los resultados de DRX del almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (P) (AIB.ManP), el almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (S) (AIB.ManS) y los resultados de DRX de las películas de hidrogel de almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (P) (AIB.ManP) y de las películas de hidrogel de almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (S) (AIB.ManS).

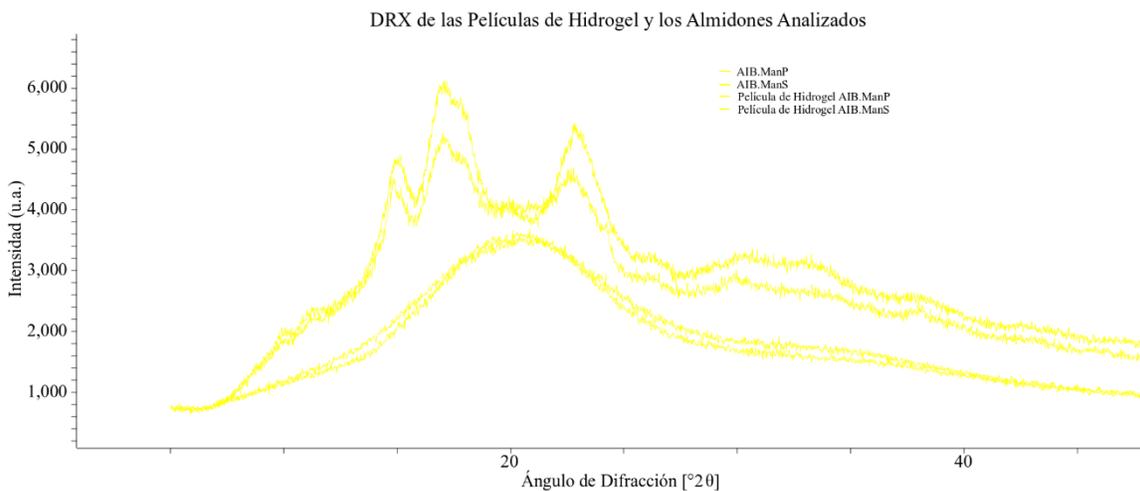


Figura 69. Comparación de los resultados de DRX del almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (P) (AIB.ManP), el almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (S) (AIB.ManS) y los resultados de DRX de las películas de hidrogel de almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (P) (AIB.ManP) y de las películas de hidrogel de almidón de *Ipomoea Batatas* Mantequilla (S) (AIB.ManS). Fuente: *Elaboración propia.*

En la Figura 70 se muestra la Comparación de los resultados de DRX del almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (P) (AIB.BlaP), el almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (S) (AIB.BlaS) y los resultados de DRX de las películas de hidrogel de almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (P) (AIB.BlaP) y de las películas de hidrogel de almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (S) (AIB.BlaS).

SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN HIDROGEL A BASE DE ALMIDÓN DE *IPOMOEA BATATAS* PARA USO EN INGENIERÍA TISULAR

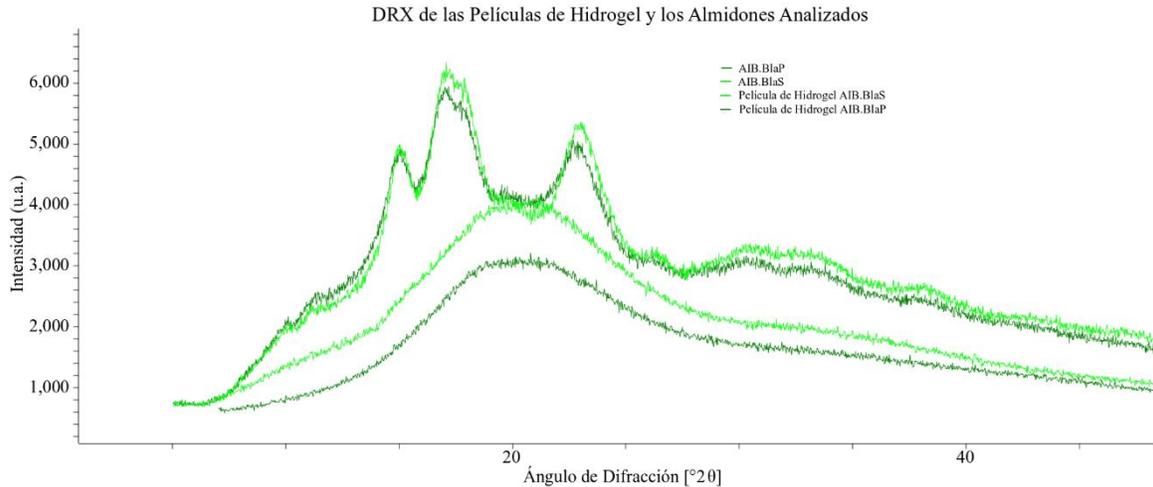


Figura 70. Comparación de los resultados de DRX del almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (P) (AIB.BlaP), el almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (S) (AIB.BlaS) y los resultados de DRX de las películas de hidrogel de almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (P) (AIB.BlaP) y de las películas de hidrogel de almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (S) (AIB.BlaS). Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 71 se muestra la Comparación de los resultados de DRX del almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P) (AIB.MorP), el almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S) (AIB.MorS) y los resultados de DRX de las películas de hidrogel de almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P) (AIB.MorP) y de las películas de hidrogel de almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S) (AIB.MorS).

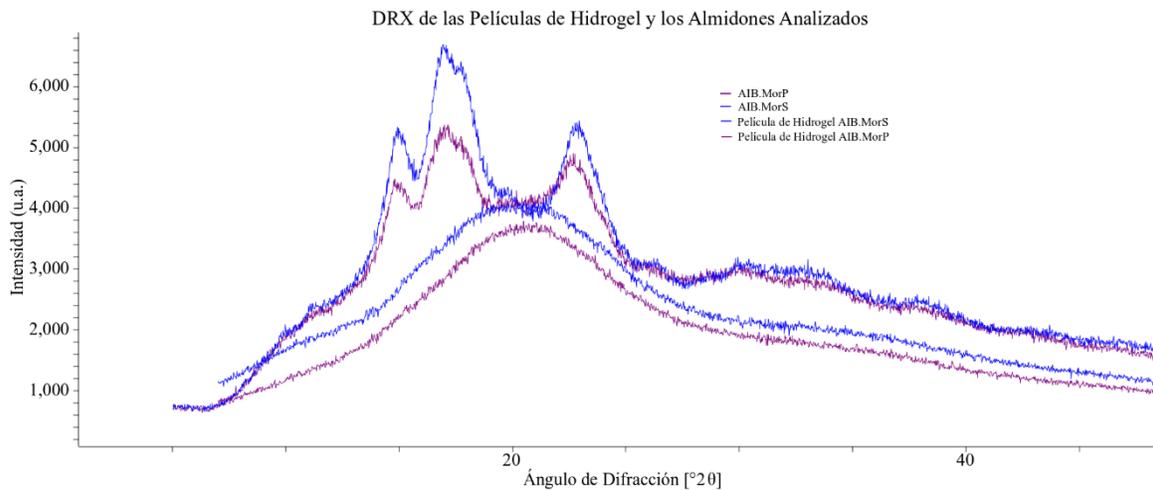


Figura 71. Comparación de los resultados de DRX del almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P) (AIB.MorP), el almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S) (AIB.MorS) y los resultados de DRX de las películas de hidrogel de almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P) (AIB.MorP) y de las películas de hidrogel de almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S) (AIB.MorS). Fuente: Elaboración propia.

Porcentaje de cristalinidad del almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P) (AIB.MorP) y porcentaje de cristalinidad del almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S) (AIB.MorS)

Se identificó la presencia de fase amorfa y fase cristalina. En la Tabla 14 se resume el porcentaje de cristalinidad y las fases identificadas en cada muestra. Como es posible observar la fase principal observada en las muestras de almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P) (AIB.MorP) y almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S) (AIB.MorS) es la fase del almidón tipo A con estructura ortorrómbica.

Tabla 14. Porcentaje de cristalinidad y fases identificadas en el almidón de Ipomoea Batatas Morado (P) (AIB.MorP) y en el almidón de Ipomoea Batatas Morado (S) (AIB.MorS). Fuente: Elaboración propia.

Muestra	Cristalinidad (%)	Fases presentes
Almidón de <i>Ipomoea Batatas</i> Morado (P) (AIB.MorP)	11.8	Almidón A (ortorrómbico)
Almidón de <i>Ipomoea Batatas</i> Morado (S) (AIB.MorS)	15.9	Almidón A (ortorrómbico)

El porcentaje de cristalinidad se obtiene mediante el método sustracción de la fase amorfa. En la Figura 72 se muestra como ejemplo la evaluación de la cristalinidad de la muestra de almidón de *Ipomoea Batatas* Morado P (AIB.MorP).

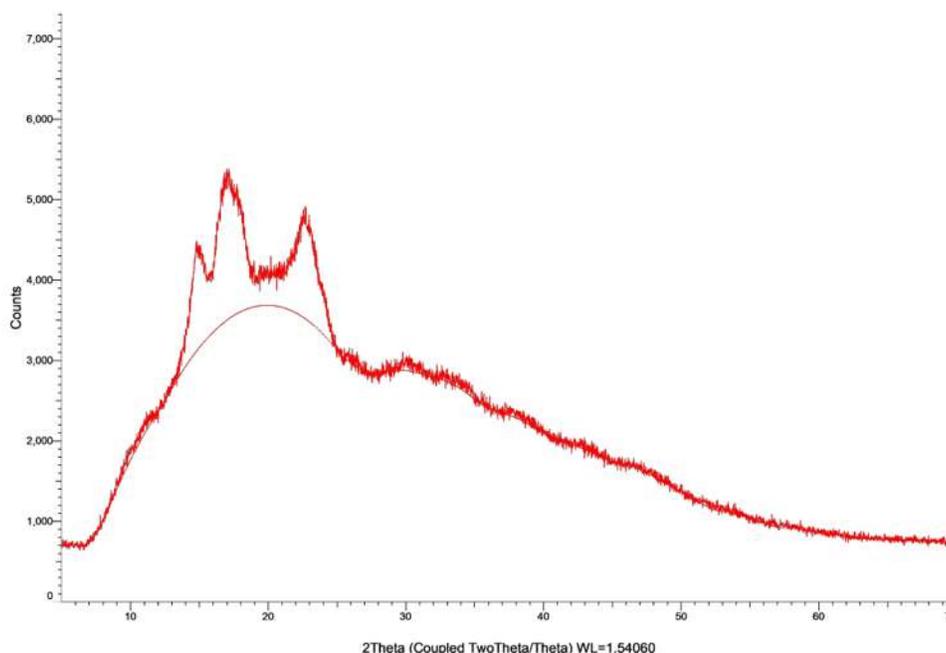


Figura 72. Evaluación de porcentaje de cristalinidad en muestra de almidón de Ipomoea Batatas Morado (P) (AIB.MorP). Fuente: Elaboración propia.

Porcentaje de cristalinidad de la película de hidrogel de almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P) (AIB.MorP) y porcentaje de cristalinidad de la película de hidrogel de almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S) (AIB.MorS)

En la Tabla 15 se resume el porcentaje de cristalinidad y las fases identificadas en cada muestra. Como es posible observar la fase principal en las muestras de la película de hidrogel de almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P) (AIB.MorP) y la película de hidrogel de almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S) (AIB.MorS) es indeterminada.

Tabla 15. Porcentaje de cristalinidad y fases identificadas en el almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P) (AIB.MorP) y en el almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S) (AIB.MorS). Fuente: Elaboración propia.

Muestra	Cristalinidad (%)	Fases presentes
Película de hidrogel de Almidón de <i>Ipomoea Batatas</i> Morado (P) (AIB.MorP)	21.5	indeterminada
Película de hidrogel de Almidón de <i>Ipomoea Batatas</i> Morado (S) (AIB.MorS)	21.9	indeterminada

Como es posible observar, las muestras de las películas de hidrogel de almidón de *Ipomoea Batatas* morado (S) (AIB.MorS) y de las películas de hidrogel de almidón de *Ipomoea Batatas* morada (P) (AIB.MorP) siguen presentando cristalinidad, sin embargo, no es posible asignar algunas de las fases cristalinas del almidón como la fase A, B o C. Esto se puede explicar si estas muestras fueron sometidas a tratamientos físicos o químicos que hayan modificado la estructura cristalina original o disminuido en tamaño las regiones cristalinas, este comportamiento ya se ha reportado en diversas investigaciones. Es posible que sigan manteniendo la estructura tipo A pero las regiones tengan tamaños muy pequeños comparadas con las muestras de almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S) (AIB.MorS) y las muestras de almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P) (AIB.MorP).

Caracterización por medio de la técnica analítica de Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FT-IR) de las películas de Hidrogel que fueron adicionadas con APT

Los espectros obtenidos se muestran a continuación:

En la Figura 73 se muestra las bandas obtenidas del análisis de FT-IR de las películas de hidrogel a base de almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P) (AIB.ManP.APT); el análisis de FT-IR de las películas de hidrogel a base de almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S) (AIB.MorS.APT), con bandas en la señal de 3300 (O-H), 2931 (C-H), 2877, 1418(CH₂), 1338 (O-H), 1158 (C-O-C), 1017 (O-H) cm^{-1} , así como lo indica el artículo “Synthesis and characterization of clay nanocomposites based on starch” (Rosendo-González et al., 2019).

SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN HIDROGEL A BASE DE ALMIDÓN DE *IPOMOEA BATATAS* PARA USO EN INGENIERÍA TISULAR

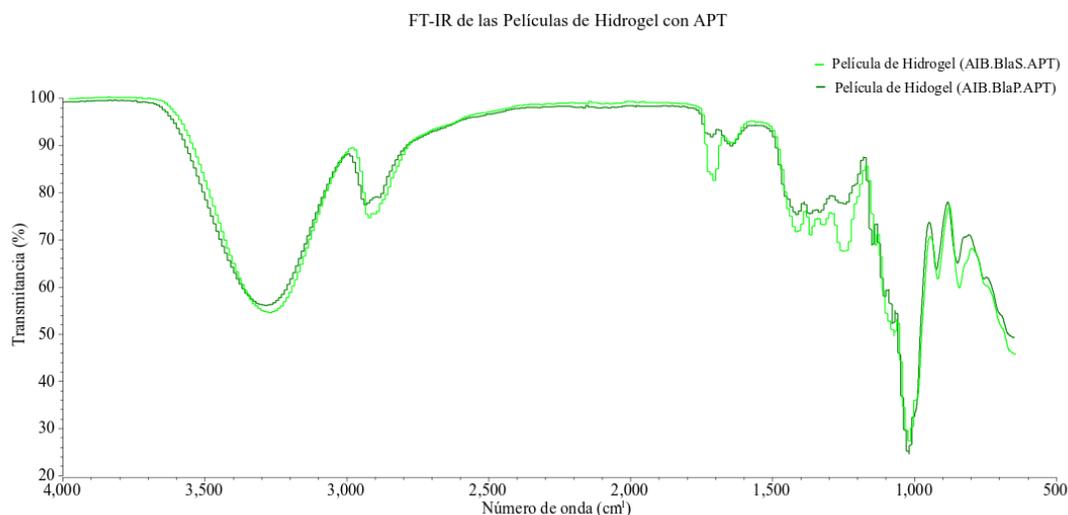


Figura 73. Bandas características obtenidas de las películas de Hidrogel de: Almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (P) con APT (AIB.BlaP.APT), Almidón de *Ipomoea Batatas* Blanco (S) con APT (AIB.BlaS.APT). Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 74 se muestra las bandas obtenidas del análisis de FT-IR de las películas de hidrogel a base de almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P) (AIB.ManP.APT); el análisis de FT-IR de las películas de hidrogel a base de almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S) (AIB.MorS.APT), con bandas en la señal de 3300 (O-H), 2931 (C-H), 2877, 1418(CH₂), 1338 (O-H), 1158 (C-O-C), 1017 (O-H) cm^{-1} , así como lo indica el artículo “Synthesis and characterization of clay nanocomposites based on starch” (Rosendo-González et al., 2019).

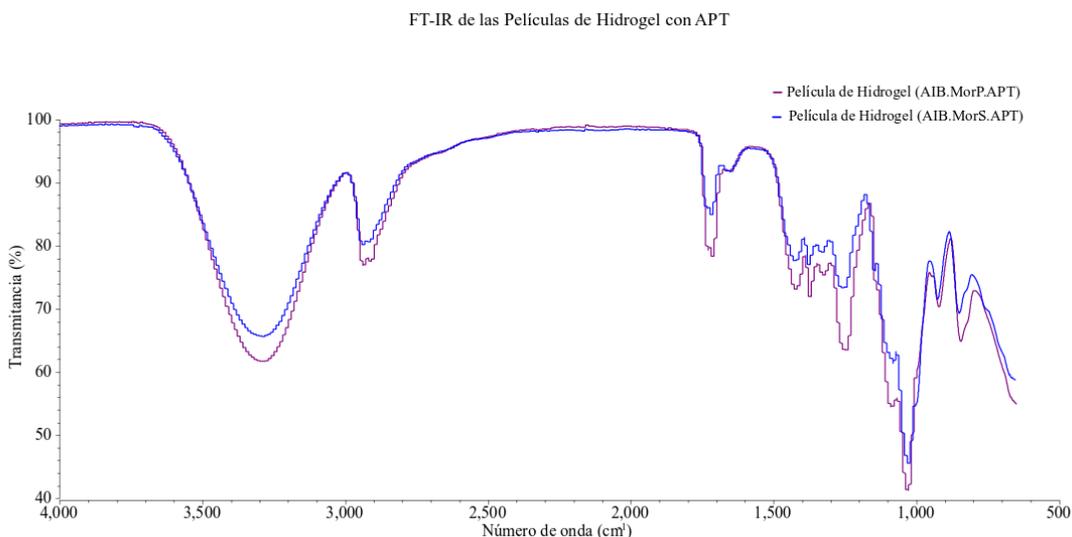


Figura 74. Bandas características obtenidas de las películas de Hidrogel de: Almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (P) con APT (AIB.MorP.APT), Almidón de *Ipomoea Batatas* Morado (S) con APT (AIB.MorS.APT). Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

Se lograron obtener almidones de *Ipomoea Batatas* de diversas especies endémicas cultivadas en México lo que se comprobó mediante la caracterización por Difracción de Rayos X (DRX), obteniéndose valores del ángulo de Bragg (2θ) de: 15° , 17° , 18° , 20° y 23° que concuerdan con valores reportados en la literatura para almidones.

Se caracterizó por Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FT-IR) encontrándose señales en la banda $1631(\text{O-H})$, $1460(\text{CH}_2\text{OH})$, $1385(\text{CH}_2\text{OH})$, $1158(\text{C-O y COH})$, $1083(\text{C-O y COH})$ y $991(\text{C-O-C}) \text{ cm}^{-1}$ también reportadas en la literatura relacionadas con los enlaces característicos de almidones.

Se realizó la caracterización por medio de la técnica analítica de Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) observando la morfología que se forman a nivel microscópico de los almidones.

En base a lo anterior y lo que se indica en la literatura de los picos característicos y las bandas características que presentan los almidones y contrarrestándolas con los resultados obtenidos de las muestras analizadas se concluye que lo que se obtuvo fueron almidones tipo C.

Se realizó la síntesis de las películas de hidrogel, estas películas de hidrogel fueron sometidas a la caracterización por medio de la técnica de Difracción de Rayos X (DRX), en la cual los difractogramas de los hidrogeles muestran una estructura amorfa característica de un sistema desorganizado característico de los polímeros por lo que se muestra que no se obtuvieron picos de difracción definidos, sólo se muestra un pico amplio a $2\theta = 20.5^\circ$.

Del análisis de Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FT-IR) de las películas de hidrogel a base de almidón de *Ipomoea Batatas* se obtuvieron las bandas en la señal con bandas en la señal de $3300(\text{O-H})$, $2931(\text{C-H})$, 2877 , $1418(\text{CH}_2)$, $1338(\text{O-H})$, $1158(\text{C-O-C})$, $1017(\text{O-H}) \text{ cm}^{-1}$, correspondientes a polímeros a base de almidones reportadas en la literatura revisada.

Se realizó la caracterización por medio de la técnica analítica de Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) obteniendo las estructuras que se forman a nivel microscópico de la superficie de las películas de hidrogel.

Adicionalmente se obtuvieron películas de hidrogel de almidón de *Ipomoea Batatas* adicionándolo con APT obteniendo películas de hidrogel con mejor textura y con la propiedad de disolución al contacto del agua, además se realizaron pruebas con jeringas para verificar su potencial inyectabilidad para su uso en impresoras tridimensionales obteniendo así diversos patrones en cajas Petri.

Finalmente se obtuvieron películas de hidrogel de almidón de *Ipomoea Batatas* de diversas especies con distribución uniforme, de apariencia translúcida, elásticas al tacto, de fácil manipulación, estables a temperatura ambiente lo que se traduce en un potencial uso en ingeniería tisular.

Trabajos Futuros

Los trabajos futuros propuestos son los siguientes:

Medición del ángulo de contacto de las películas de hidrogel.

Caracterizaciones mecánicas de las películas de hidrogel en su forma sólida como lo es el ensayo de compresión.

Caracterizaciones físicas como lo es la viscosidad y densidad del hidrogel en su forma líquida

Pruebas de inyectabilidad del hidrogel en estado líquido.

Pruebas de esterilización de los diversos almidones obtenidos, del hidrogel en estado líquido y de las películas de hidrogel.

Pruebas de citotoxicidad del hidrogel líquido y de las películas de hidrogel.

Bibliografía

- Aparicio Ceja, M. E., & Carbajal Arizaga, G. G. (2010). Utilidad de la difracción de rayos x en las nanociencias. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria En Nanociencias y Nanotecnología*, 3(2), 62–72.
- Aristizábal, J., Sánchez, T., & Lorío, D. M. (2007). *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca* (Vol. 163). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Roma.
- Basurto, F. (2015). Conocimiento actual del cultivo de camote (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) en México. *Agro Productividad*, 8(1).
- Bello-Pérez, L. A., Osorio-Díaz, P., Agama-Acevedo, E., Núñez-Santiago, C., & Paredes-López, O. (2002). *Chemical, physicochemical and rheological properties of masas and nixtamalized corn flour*.
- Bernal-Avila, F. J., Cuervo, O. H. P., & Guerrero, N. A. S. (2024). Apósitos a base de almidón: revisión sistemática sobre métodos de caracterización fisicoquímica y su potencial en la cicatrización de heridas. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 25(2).
- Biduski, B., da Silva, W. M. F., Colussi, R., El Halal, S. L. de M., Lim, L.-T., Dias, Á. R. G., & da Rosa Zavareze, E. (2018). Starch hydrogels: The influence of the amylose content and gelatinization method. *International Journal of Biological Macromolecules*, 113, 443–449.
- Bozoğlan, B. K., Duman, O., & Tunç, S. (2020). Preparation and characterization of thermosensitive chitosan/carboxymethylcellulose/scleroglucan nanocomposite hydrogels. *International Journal of Biological Macromolecules*, 162, 781–797.
- Campos Rosillo, S. (2015). *Hidrogeles de almidón-PVA como vehículos de antimicrobianos para el envasado activo de alimentos*.
- Contreras, J., Austin, D. F., De La Puente, F., & Díaz, J. (1995). Biodiversidad del camote o batata (*Ipomoea batatas*, Convolvulaceae) en México del sur. *Economic Botany*, 49, 286–296.
- Cui, C., Jia, Y., Sun, Q., Yu, M., Ji, N., Dai, L., Wang, Y., Qin, Y., Xiong, L., & Sun, Q. (2022). Recent advances in the preparation, characterization, and food application of starch-based hydrogels. *Carbohydrate Polymers*, 291, 119624.
- Dong, Y., Ghasemzadeh, M., Khorsandi, Z., Sheibani, R., & Nasrollahzadeh, M. (2024). Starch-based hydrogels for environmental applications: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 131956.
- Fernández García, L., & Gordillo Ibla, J. F. (2020). *Diseño de un biomaterial tipo hidrogel basado en un biopolímero funcionalizado para su potencial aplicación en el desarrollo de biotintas con astrocitos*.
- Folquer, F. (1978). *La batata (camote): estudio de la planta y su producción comercial*.
- Geng, Z., Zongdao, C., & Yimin, W. (2007). Physicochemical properties of lotus (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) and kudzu (*Pueraria hirsute* Matsum.) starches. *International Journal*

- of Food Science & Technology*, 42(12), 1449–1455.
- Giraldo Salazar, J. C. (2022). *Hidrogel inyectable con posible aplicación en el cáncer de mama*.
- Huamán, Z. (1991). *Descriptores de la batata*.
- Huang, C. (2009). Physicochemical, pasting and thermal properties of tuber starches as modified by guar gum and locust bean gum. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(1), 50–57.
- Kalendova, P., Svoboda, L., Hroch, J., Honcova, P., Drobna, H., & Slang, S. (2021). Hydrogels based on starch from various natural sources: Synthesis and characterization. *Starch-Stärke*, 73(9–10), 2100051.
- Konstantakos, S., Marinopoulou, A., Papaemmanouil, S., Emmanouilidou, M., Karamalaki, M., Kolothas, E., Saridou, E., Papastergiadis, E., & Karageorgiou, V. (2019). Preparation of model starch complex hydrogels. *Food Hydrocolloids*, 96, 365–372.
- Koshenaj, K., & Ferrari, G. (2024). A comprehensive review on starch-based hydrogels: from tradition to innovation, opportunities, and drawbacks. *Polymers*, 16(14), 1991.
- Lara Pedraza, A. L. (2022). *Morelia, Michoacán Noviembre de 2022*. Universidad Michoacana De San Nicolás de Hidalgo.
- Larrea-Wachtendorff, D., Sousa, I., & Ferrari, G. (2021). Starch-based hydrogels produced by high-pressure processing (HPP): Effect of the starch source and processing time. *Food Engineering Reviews*, 13(3), 622–633.
- Lizarbe, M. A. (2007). Sustitutivos de tejidos: de los biomateriales a la ingeniería tisular. *Rev R Acad Cienc Exact Fís Nat (Esp)*, 101(1), 227–249.
- Lozano, O. E. L., Fernández, H. C., Santos, R. G., de Souza, M. F., Rossi, A. L., & de Oliveira, M. (2010). Aplicación de la Microscopia Electrónica de Barrido en la Caracterización de la Poliapatita®. *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, 41, 1–6.
- Lugao, A. B., Machado, L. D. B., Miranda, L. F., Alvarez, M. R., & Rosiak, J. M. (1998). Study of wound dressing structure and hydration/dehydration properties. *Radiation Physics and Chemistry*, 52(1–6), 319–322.
- Martínez, M. T. M. (2017). *Desarrollo y aplicaciones de hidrogeles para la administración y liberación modificada de fármacos*. Universitat de València, Facultat de Farmàcia.
- Mata-Miranda, M. M., Guerrero-Robles, C. I., Rojas-López, M., Delgado-Macuil, R. J., González-Díaz, C. A., Sánchez-Monroy, V., Pérez-Ishiwara, D. G., & Vázquez-Zapién, G. J. (2017). Componentes principales mediante espectroscopia FTIR como tecnica de caracterizacion innovadora durante la diferenciacion de celulas madre pluripotentes a celulas pancreaticas. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, 38(1), 225–234.
- Mazuelas Esteban, Á. (2002). *Caracterización por difracción de rayos X de heteroestructuras de semiconductores III-V: aplicación al diseño de superredes*

tensadas para epitaxias de GaAs-Si. Universidad Complutense de Madrid, Servicio de Publicaciones.

- Myllärinen, P., Buleon, A., Lahtinen, R., & Forssell, P. (2002). The crystallinity of amylose and amylopectin films. *Carbohydrate Polymers*, 48(1), 41–48.
- Noè, C., Tonda-Turo, C., Chiappone, A., Sangermano, M., & Hakkarainen, M. (2020). Light processable starch hydrogels. *Polymers*, 12(6), 1359.
- Olate Moya, F. A. (2020). *Nanocompósitos hidrogeles biopoliméricos con óxido de grafeno para impresión 3D de andamios para ingeniería de tejido cartilaginoso*.
- Pérez, H., & Karen, C. A. (2019). *Cambio estructural del almidón como consecuencia del escaldado en camote (Ipomoea batatas) de diferentes variedades*.
- Qamruzzaman, M., Ahmed, F., & Mondal, M. I. H. (2022). An overview on starch-based sustainable hydrogels: Potential applications and aspects. *Journal of Polymers and the Environment*, 30(1), 19–50.
- Ramirez, A., Benítez, J. L., Rojas de Astudillo, L., & Rojas de Gáscue, B. (2016). Materiales polimeros de tipo hidrogeles: revisión sobre su caracterización mediante ftir, dsc, meb y met. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 36(2), 108–130.
- Ramirez, Y. A. (2010). *Síntesis, caracterización y evaluación de hidrogeles de sacarosa*.
- Rodrigues, R. H. S., de Almeida, E. A., Kruger, F. R., Silva-Filho, E. C., & Muniz, E. C. (2024). Hydrogels Based on Polyacrylamide and Pectin Containing Rice Husk Ash: Preparation, Characterization and Application in Formulation of Cementitious Materials. *Materials*, 17(23), 5746.
- Rodríguez-Hernández, A. I., Tecante, A., & Doublier, J. L. (2001). Viscoelastic behavior of waxy maize starch-gellan mixtures under small amplitude oscillatory shear. *Proceedings of the Eighth International Congress on Engineering and Food*, 509–513.
- Rosendo-González, V., Illescas, J., del Carmen Díaz-Nava, M., Alvarado-Pérez, Y., & García-Sánchez, J. J. (2019). Synthesis and characterization of clay nanocomposites based on starch. *MRS Advances*, 4(59), 3243–3249.
- Ruffa, M. (2015). *Desarrollo y caracterización mecánica de hidrogeles biomédicos basados en almidón y poli (vinil alcohol)*. Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ingeniería. Argentina.
- Ruiz Tuapante, A. L. (2013). *Caracterización del extracto sólido y seco de dos genotipos de camote (Ipomea batatas L.) gelatinizado y fortificado con residuo sólido de zanahoria amarilla (Daucus carota)*. Quito, 2013.
- Soler, D. M., & Rodríguez, Y. (n.d.). *Metodología para caracterizar membranas de hidrogel*.
- Soto, D., & Oliva, H. (2012). Métodos para preparar hidrogeles químicos y físicos basados en almidón: Una revisión. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*,

32(2), 154–175.

- Van Nieuwenhove, I., Salamon, A., Peters, K., Graulus, G.-J., Martins, J. C., Frankel, D., Kersemans, K., De Vos, F., Van Vlierberghe, S., & Dubruel, P. (2016). Gelatin-and starch-based hydrogels. Part A: Hydrogel development, characterization and coating. *Carbohydrate Polymers*, 152, 129–139.
- Vidal, A. R., Zaucedo-Zuñiga, A. L., & de Lorena Ramos-García, M. (2018). Propiedades nutrimentales del camote (*Ipomoea batatas* L.) y sus beneficios en la salud humana. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 19(2).

Irene Monserrat Irepan Avilés

SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN HIDROGEL A BASE DE ALMIDÓN DE IPOMOEA BATATAS PARA USO EN INGENIERÍA

 Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:448118644

Fecha de entrega

11 abr 2025, 11:08 a.m. GMT-6

Fecha de descarga

11 abr 2025, 11:11 a.m. GMT-6

Nombre de archivo

SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN HIDROGEL A BASE DE ALMIDÓN DE IPOMOEA BATATAS PAR....pdf

Tamaño de archivo

6.5 MB

116 Páginas

25.734 Palabras

146.509 Caracteres

29% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Top Sources

- 29%  Internet sources
- 12%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



A quien corresponda,

Por este medio, quien abajo firma, bajo protesta de decir verdad, declara lo siguiente:

- Que presenta para revisión de originalidad el manuscrito cuyos detalles se especifican abajo.
- Que todas las fuentes consultadas para la elaboración del manuscrito están debidamente identificadas dentro del cuerpo del texto, e incluidas en la lista de referencias.
- Que, en caso de haber usado un sistema de inteligencia artificial, en cualquier etapa del desarrollo de su trabajo, lo ha especificado en la tabla que se encuentra en este documento.
- Que conoce la normativa de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en particular los Incisos IX y XII del artículo 85, y los artículos 88 y 101 del Estatuto Universitario de la UMSNH, además del transitorio tercero del Reglamento General para los Estudios de Posgrado de la UMSNH.

Datos del manuscrito que se presenta a revisión		
Programa educativo	Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica	
Título del trabajo	SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN HIDROGEL A BASE DE ALMIDÓN DE <i>IPOMOEA BATATAS</i> PARA SU USO EN INGENIERÍA TISULAR	
	Nombre	Correo electrónico
Autor/es	Irene Monserrat Irepan Avilés	1423187d@umich.mx
Director	Dr. Miguel Villagómez Galindo	miguel.villagomez@umich.mx
Codirector	Dra. Ana Beatriz Martínez Valencia	beatriz.valencia@umich.mx
Coordinador del programa	Dr. Miguel Villagómez Galindo	mae.cs.ingenieria.mecanica@umich.mx

Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Asistencia en la redacción	NO	

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Traducción al español	NO	
Traducción a otra lengua	NO	
Revisión y corrección de estilo	NO	
Análisis de datos	NO	
Búsqueda y organización de información	NO	
Formateo de las referencias bibliográficas	NO	
Generación de contenido multimedia	NO	
Otro	NO	

Datos del solicitante	
Nombre y firma	Irene Monserrat Irepan Avilés 
Lugar y fecha	Morelia, Michoacán, México 30 de abril del 2025