

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA**



**CARACTERIZACION FISICOQUIMICA DEL ALMIDON DE RAIZ DE *Sechium edule* (GÜISQUIL) VERDE SIN ESPINAS DE EL SALVADOR, NO MODIFICADO Y PREGELATINIZADO, COMPARADO CON EL ALMIDON COMERCIAL STARCH 1500®**

**TRABAJO DE GRADUACION PRESENTADO POR:  
CRISTINA ARACELY BARRAZA GALLEGOS  
KARLA BRICEIDA RODRIGUEZ MEJIA**

**PARA OPTAR AL GRADO DE  
LICENCIATURA EN QUIMICA Y FARMACIA**

**MARZO DE 2010**

**SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTROAMERICA.**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR**

MSc. RUFINO ANTONIO QUEZADA SANCHEZ

**SECRETARIO GENERAL**

LIC. DOUGLAS VLADIMIR ALFARO CHAVEZ

**FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA**

**DECANO**

LIC. SALVADOR CASTILLO AREVALO

**SECRETARIA**

MSc. MORENA LIZETTE MARTINEZ DE DIAZ

## **COMITE DE TRABAJO DE GRADUACION**

### **COORDINADORA GENERAL**

Licda. María Concepción Odette Rauda Acevedo

### **ASESORA DE AREA DE APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES**

MSc. Sonia Maricela Lemus Martínez

### **ASESORA DE CONTROL DE CALIDAD DE PRODUCTOS FARMACEUTICOS, COSMETICOS Y VETERINARIOS**

MSc. Rocío Ruano de Sandoval

### **DOCENTES DIRECTORES**

Ing. Sergio Armando Maravilla

MSc. Saúl Ovidio González Rosales

## **AGRADECIMIENTOS**

- En primer lugar a Dios todopoderoso por habernos dado la fortaleza, sabiduría, y todo lo necesario para lograr esta gran meta.
- A nuestros asesores: Ing. Sergio Armando Maravilla Miranda y Saúl Ovidio González Rosales MS.; por su apoyo, consejos, traspaso de conocimientos y tiempo brindado de manera incondicional para la realización de este trabajo de graduación.
- A la coordinadora general de trabajos de graduación: Licda. Odette Rauda Acevedo, y asesoras de área: Ms. Rocío Ruano de Sandoval y Ms. Sonia Maricela Lemus, por toda la disposición y contribución al enriquecimiento de este trabajo de graduación.
- A todas las personas que de forma directa o indirecta colaboraron en esta investigación.
- A nuestros familiares y amigos que estuvieron en todo momento dándonos su apoyo y motivación para lograr esta meta.

## DEDICATORIA

- En primer lugar a Dios por darme siempre fortaleza, sabiduría y ser mi guía y motivación para culminar mi carrera siendo una de las metas más importantes de mi vida.
- A mis padres, Carlos Barraza y Teresa Gallegos de Barraza por su amor, paciencia, comprensión, consejos y todo el sacrificio para darme mis estudios y cosechar estos frutos y por todo el apoyo que ellos me dan en los momentos más trascendentales de mi vida.
- A mis hermanos y hermanas por estar pendientes de darme su apoyo, cariño y motivación.
- A Nohemy: por ser una súper hermana, por apoyarme y escucharme.
- A mis tías: Enma y Margoth Gallegos por su colaboración en este trabajo de graduación.
- A mis amigas y amigos por su valiosa amistad y de una u otra manera estuvieron pendientes de darme ánimos para lograr esta meta.
- A mi amiga y compañera Karla Briceida Rodriguez por haberla puesto Dios en mi camino y formar un buen equipo y por darme su valiosa amistad, comprensión, apoyo y por compartir esta meta juntas.
- A la familia Rodriguez Mejía por su apoyo incondicional
- A las personas que estuvieron involucradas de cualquier forma en ayudar a alcanzar esta meta.

Cristina Aracely Barraza Gallegos

## INDICE

	<b>Página</b>
<b>Resumen</b>	
<b>Capítulo I</b>	
1.0 Introducción	xxvii
<b>Capítulo II</b>	
2.0 Objetivos	
2.1 Objetivo general	
2.2 Objetivos específicos	
<b>Capítulo III</b>	
3.0 Marco teórico	32
3.1 Monografía de <b><i>Sechium edule</i></b>	32
3.1.1 Origen	32
3.1.2 Generalidades	32
3.1.3 Descripción de la planta	33
3.1.4 Distancia de siembra	34
3.1.5 Densidad de siembra	34
3.1.6 Periodo vegetativo	35
3.1.7 Preparación del suelo	35
3.2 Generalidades del almidón	35
3.2.1 Procedencia del almidón	36

3.2.2	Forma del gránulo de almidón	36
3.2.3	Componentes principales del almidón	37
3.2.4	Características de los almidones	38
3.2.5	Almidones modificados	40
3.3	Generalidades de los almidones comerciales	41
3.3.1	Procedimiento general de obtención de almidones comerciales	42
<b>Capítulo IV</b>		
4.0	Diseño metodológico	45
4.1	Tipo de Estudio	45
4.2	Investigación Bibliográfica	45
4.3	Investigación de campo	46
4.3.1	Universo	46
4.3.2	Tipo de Muestreo	46
4.3.3	Punto de Muestreo	46
4.3.4	Tamaño de la Muestra	47
4.3.5	Métodos de obtención de datos estadísticos	47
4.4	Parte experimental	48
4.4.1	Extracción de almidón de raíz de <b><i>Sechium edule</i></b>	48
4.4.2	Obtención de almidón pregelatinizado	49
4.4.3	Determinación del porcentaje de materia seca de la raíz de <b><i>Sechium edule</i></b>	50
4.4.3.1	Materia seca	50

4.4.4	Pruebas de caracterización de almidón sin modificar y pregelatinizado de la raíz de <b><i>Sechium edule</i></b> y el almidón comercial Starch 1500®	51
4.4.4.1	Pruebas principales de caracterización de almidones	51
4.4.4.1.1	Viscosidad	51
4.4.4.1.2	Índice de hinchamiento (IH)	52
4.4.4.1.3	Determinación del punto de gelatinización	53
4.4.4.1.4	Capacidad de retención de agua	53
4.4.4.2	Pruebas complementarias de caracterización	53
4.4.4.2.1	Sustancias solubles	53
4.4.4.2.2	Acidez titulable	54
4.4.4.2.3	Pérdida por secado	55
4.4.4.2.4	Valoración de fosfatos	56
4.4.4.2.5	Densidad verdadera (DT), Densidad global (DB) y Porosidad	58

## Capítulo V

5.0	Resultados y discusión de resultados	61
5.1	Materia seca	61
5.1.1	Resultados de materia seca para la raíz de <b><i>Sechium edule</i></b>	61
5.1.2	Discusión de resultados de materia seca	62
5.2	Pruebas principales de caracterización de los almidones	62
5.2.1	Viscosidad	62

5.2.1.1	Resultados de viscosidad	62
5.2.1.2	Viscosidad de almidón en agua	63
5.2.1.2.1	Interpretación de análisis estadístico de viscosidad en medio acuoso	64
5.2.1.3	Viscosidad de almidón en hidróxido de potasio (KOH)	66
5.2.1.3.1	Interpretación de análisis estadístico de viscosidad en hidróxido de potasio (KOH)	67
5.2.1.4	Representación grafica de la prueba de viscosidad en medio acuoso e hidróxido de potasio realizada a los tres tipos de almidones en estudio	70
5.2.1.5	Discusión de resultados de Viscosidad	71
5.2.2	Índice de hinchamiento(IH)	73
5.2.2.1	Resultados de índice de hinchamiento	73
5.2.2.2	Interpretación de análisis estadístico de índice de hinchamiento	76
5.2.2.3	Discusión de resultados de índice de hinchamiento	78
5.2.3	Determinación del punto de gelatinización	79
5.2.3.1	Resultados del Punto de gelatinización	79
5.2.3.2	Interpretación de análisis estadístico de Punto de gelatinización	82
5.2.3.3	Discusión de resultados del Punto de gelatinización	84
5.2.4	Determinación de la Capacidad de retención de agua	85
5.2.4.1	Resultados de Capacidad de retención de agua	85

5.2.4.2	Interpretación de análisis estadístico de Capacidad de retención de agua	88
5.2.4.3	Discusión de resultados de la capacidad de retención de agua	90
5.3	Pruebas complementarias de caracterización de almidones	91
5.3.1	Sustancias solubles	91
5.3.1.1	Resultados de sustancias solubles	91
5.3.1.2	Interpretación de análisis estadístico de Sustancias solubles	94
5.3.1.3	Discusión de resultados de Sustancias solubles	95
5.3.2	Acidez titulable	97
5.3.2.1	Resultados de acidez titulable	97
5.3.2.2	Interpretación de análisis estadístico de acidez titulables	100
5.3.2.3	Discusión de resultados de acidez titulable	102
5.3.3	Pérdida por secado	103
5.3.3.1	Resultados de Pérdida por secado	103
5.3.3.2	Interpretación de análisis estadístico de Pérdida por secado	108
5.3.3.3	Discusión de resultados de Pérdida por secado	110
5.3.4	Valoración de Fosfatos	111
5.3.4.1	Resultados de Valoración de fosfatos	
5.3.4.2	Interpretación de análisis estadístico de Valoración de fosfatos	114
5.3.4.3	Discusión de resultados de Valoración de fosfatos	115

5.3.5	Densidad verdadera	116
5.3.5.1	Resultados de Densidad verdadera	116
5.3.5.2	Interpretación de análisis estadístico de Densidad verdadera	119
5.3.5.3	Discusión de resultados de Densidad verdadera	120
5.3.6	Densidad global	120
5.3.6.1	Resultados de densidad global	120
5.3.6.2	Interpretación de análisis estadístico de Densidad global	123
5.3.6.3	Discusión de resultados de Densidad global	124
5.3.7	Porosidad	124
5.3.7.1	Resultados de Porosidad	124
5.3.7.2	Interpretación de análisis estadístico de Porosidad	127
5.3.7.3	Discusión de resultados de Porosidad	128
<b>Capítulo VI</b>		
6.0	Conclusiones	131
<b>Capítulo VII</b>		
7.0	Recomendaciones	134
	Bibliografía	
	Anexos	

## INDICE DE ANEXOS

### ANEXO N°

1. Fotografías de generalidades de ***Sechium edule*** y almidón
2. Comparación de la composición química del fruto y raíz de ***Sechium edule***
3. Descripción general del almidón
4. Ubicación geográfica del sitio de recolección de la raíz de ***Sechium edule***
5. Identificación de las zonas güisquileras del territorio salvadoreño
6. Equipo requerido en el análisis fisicoquímico
7. Fotografías de las etapas en el proceso de obtención del almidón no modificado, pregelatinizado y análisis fisicoquímico de estos y almidón comercial Starch 1500®
8. Listado de materiales, equipo, reactivos y materias primas
9. Preparación de reactivos y soluciones para la realización del análisis fisicoquímico
10. Fórmulas y cálculos para el análisis fisicoquímico de los almidones
11. Tabla de distribución F para el análisis ANOVA
12. Tabla de T de Tukey al 5% de Probabilidad
13. Uso y especificaciones del viscosímetro Brookfield RV-DVE
14. Uso y especificaciones del Thermo Spectronic Génesis 20
15. Certificado de análisis fisicoquímico y microbiológico de Starch 1500®

## INDICE DE FIGURAS

Figura N°		N° Página
1.	Esquema del procedimiento general para la obtención de almidón no modificado de raíz de <b><i>Sechium edule</i></b>	48
2.	Esquema del procedimiento general para la obtención de almidón pregelatinizado de raíz de <b><i>Sechium edule</i></b>	49
3.	Gráfico de los resultados obtenidos de la prueba de Viscosidad	70
4.	Gráfico de los resultados obtenidos de la prueba de Índice de hinchamiento	75
5.	Gráfico de resultados obtenidos de la prueba de Punto de gelatinización	81
6.	Gráfico de los resultados obtenidos de la prueba de Capacidad de retención de agua	87
7.	Gráfico de los resultados obtenidos de la prueba de Sustancias solubles	93
8.	Gráfico de los resultados obtenidos de la prueba de Acidez titulable	99
9.	Gráfico de los resultados obtenidos de la prueba de Pérdida por secado	107
10.	Gráfico de los resultados obtenidos de la prueba de Valoración de fosfatos	113

11. Gráfico de los resultados obtenidos de la prueba de Densidad verdadera 118
12. Gráfico de los resultados obtenidos de la prueba de Densidad global 122
13. Gráfico de los resultados obtenidos de la prueba de Porosidad 126
14. ***Sechium edule*** (güisquil) verde sin espinas
15. Hojas, tallo y fruto del ***Sechium edule***
16. Flores, fruto y semilla de ***Sechium edule***
17. Sistema radical del ***Sechium edule***.
18. Posición de sembrado del güisquil
19. Almidón
20. Amilosa
21. Amilopectina
22. Tabla de la composición química del fruto de ***Sechium edule*** (güisquil)
23. Tabla de la composición química de la raíz de ***Sechium edule***
24. Mapa de El Salvador
25. Mapa de las zonas güisquileras en El Salvador
26. Viscosímetro Digital Brookfield RV-DVE
27. Centrifugadora LW Scientific Ultra-8V

28. Mufla Lindberg® SB
29. Espectrofotómetro Genesys 20. Thermo Spectronic
30. Recolección de Raíz de ***Sechium edule*** (Guisquil)de la guisquitera de el caserío El Rodeo,cantón Entre Rios, Lourdes Colon. Departamento de la Libertad
31. Raíz de ***Sechium edule***
32. Pesado de raíz con epidermis
33. Pesado de raíz sin epidermis
34. Rayado de raíz
35. Macerado de raíz
36. Obtención de almidón sin modificar de raíz de ***Sechium edule***
37. Obtención de almidón pregelatinizado de raíz de ***Sechium edule***
38. Almidón sin modificar y pregelatinizado de raíz de ***Sechium edule*** y almidón comercial Starch 1500®
39. Determinación de Materia seca de la raíz de ***Sechium edule***
40. Prueba de Viscosidad realizada en la estación experimental y practica de la Facultad de Ciencias Agronómicas
41. Prueba de Índice de hinchamiento
42. Determinación de la Temperatura de gelatinización

- 43.** Determinación de la Capacidad de retención de agua
- 44.** Determinación de Sustancias solubles
- 45.** Prueba de Acidez titulable
- 46.** Prueba de Pérdida por secado
- 47.** Prueba de Valoración de fosfatos
- 48.** Prueba de Densidad verdadera, Densidad global y Porosidad

## INDICE DE TABLAS

Nº TABLA	Nº PÁGINA
1. Resultados de la prueba de materia seca realizada a la raíz de <i>Sechium edule</i>	62
2. Resultados obtenidos de los análisis de Viscosidad realizados a los tres almidones a una temperatura de 32°C	63
3. Resultados de la media y desviación estándar de los tres tipos de almidones estudiados en la prueba de Viscosidad en medio acuoso	63
4. Resultados de análisis estadístico ANOVA para prueba de Viscosidad en medio acuoso	64
5. Resultados de las diferencias absolutas empleando el método de comparaciones múltiples T de Tukey, en la prueba de viscosidad en medio acuoso a un nivel de significancia de 0.05	66
6. Resultados de la media y desviación estándar de los tres tipos de almidones estudiados en la prueba de viscosidad en KOH	66
7. Resultados de análisis estadístico ANOVA para prueba de Viscosidad en KOH	67
8. Resultados de las diferencias absolutas empleando el método de comparaciones múltiples T de Tukey, en la	

prueba de Viscosidad en hidróxido de potasio a un nivel de significancia de 0.05	69
<b>9.</b> Resultados del análisis fisicoquímico de Índice de hinchamiento realizada a los tres tipos de almidones.	74
<b>10.</b> Resultados de la media y desviación estándar de los tres tipos de almidones estudiados en la prueba de Índice de hinchamiento.	74
<b>11.</b> Resultados de análisis estadístico ANOVA para prueba de Índice de hinchamiento	76
<b>12.</b> Resultados de las diferencias absolutas empleando el método de comparaciones múltiples T de Tukey, en la prueba de Índice de hinchamiento a un nivel de confianza de 0.05	78
<b>13.</b> Resultados de la determinación del Punto de gelatinización	80
<b>14.</b> Resultados de la media y desviación estándar de los tres tipos de almidones estudiados en la prueba de punto de gelatinización	80
<b>15.</b> Resultados de análisis estadístico ANOVA para prueba Punto de gelatinización	81
<b>16.</b> Resultados de las diferencias absolutas empleando el método de comparaciones múltiples: T de Tukey, en la prueba de Punto de gelatinización a un nivel de significancia	

de 0.05.	83
<b>17.</b> Resultados del análisis fisicoquímico de Capacidad de retención de agua realizada a los tres tipos de almidones.	86
<b>18.</b> Resultados de la media y desviación estándar de los tres tipos de almidones estudiados en la prueba de Capacidad de retención de agua.	86
<b>19.</b> Resultados de análisis estadístico ANOVA para prueba de capacidad de retención de agua.	88
<b>20.</b> Resultados de las diferencias absolutas empleando el método de comparaciones múltiples T de Tukey, en la prueba de capacidad de retención de agua a un nivel de significancia de 0.05	90
<b>21.</b> Resultados del análisis fisicoquímico de sustancias solubles realizada a los tres tipos de almidones.	92
<b>22.</b> Resultados de la media y desviación estándar de los tres tipos de almidones estudiados en la prueba de sustancias solubles.	92
<b>23.</b> Resultados de análisis estadístico ANOVA para prueba de Sustancias solubles	94
<b>24.</b> Resultados del análisis fisicoquímico de Acidez titulable realizada a los tres tipos de almidones	98
<b>25.</b> Resultados de la media y desviación estándar de los tres	

tipos de almidones estudiados en la prueba de acidez titulable.	98
<b>26.</b> Resultados de análisis estadístico ANOVA para prueba de Acidez titulable	100
<b>27.</b> Resultados de las diferencias absolutas empleando el método de comparaciones múltiples T de Tukey, en la prueba de Acidez titulable a un nivel de significancia de 0.05	102
<b>28.</b> Resultados del análisis fisicoquímico de pérdida por secado realizada a los tres tipos de almidones.	106
<b>29.</b> Resultados de la media y desviación estándar de los tres tipos de almidones estudiados en la prueba de pérdida por secado	106
<b>30.</b> Resultados de análisis estadístico ANOVA para prueba de pérdida por secado	107
<b>31.</b> Resultados de las diferencias absolutas empleando el método de comparaciones múltiples: T de Tukey, en la prueba de pérdida por secado a un nivel de significancia de 0.05	109
<b>32.</b> Resultados del análisis espectrofotométrico de Valoración de fosfatos realizada a los tres tipos de almidones.	112
<b>33.</b> Resultados de la media y desviación estándar de los tres tipos de almidones estudiados en la prueba de valoración de	

fosfatos.	112
<b>34.</b> Resultados de análisis estadístico ANOVA para prueba de valoración de fosfatos	113
<b>35.</b> Resultados de las diferencias absolutas empleando el método de comparaciones múltiples T de Tukey, en la prueba de valoración de fosfatos a un nivel de significancia de 0.05	115
<b>36.</b> Resultados obtenidos de los análisis de la densidad verdadera realizados a los tres almidones	117
<b>37.</b> Resultados de la media y desviación estándar de los tres tipos de almidones estudiados en la prueba de densidad verdadera.	118
<b>38.</b> Resultados de análisis estadístico ANOVA para prueba de densidad verdadera	119
<b>39.</b> Resultados obtenidos de los análisis de densidad global realizados a los tres almidones	121
<b>40.</b> Resultados de la media y desviación estándar de los tres tipos de almidones estudiados en la prueba de densidad global.	122
<b>41.</b> Resultados de análisis estadístico ANOVA para prueba de densidad global	123
<b>42.</b> Resultados obtenidos de los análisis de porosidad realizados	

a los tres almidones.	125
<b>43.</b> Resultados de la media y desviación estándar de los tres tipos de almidones estudiados en la prueba de porosidad.	125
<b>44.</b> Resultados de análisis estadístico ANOVA para prueba de porosidad	126
<b>45.</b> Resumen de los resultados estadísticos obtenidos de las pruebas principales y complementarias realizadas a los tres almidones estudiados.	129

## **RESUMEN**

## RESUMEN

La presente investigación consiste en la caracterización fisicoquímica del almidón de raíz de ***Sechium edule*** (güisquil) verde sin espinas de El Salvador, no modificado y pregelatinizado, y su comparación con el almidón comercial Starch 1500®, esto debido a las ventajas que puede tener el desarrollo de una nueva fuente de almidón para las distintas industrias, por lo que se evaluaron las características principales de los almidones como son: Viscosidad, Índice de Hinchamiento, Punto de Gelatinización y Capacidad de Retención de Agua. La viscosidad, en medio básico presentó un incremento promedio de 612.0 centipoises con respecto al medio acuoso, en donde el almidón pregelatinizado de la raíz de ***Sechium edule*** no presentó un aumento significativo en su viscosidad como para ser comparable al estándar de trabajo; mientras que en medio alcalino la pregelatinización disminuye la viscosidad significativamente; los resultados de esta prueba pueden deberse al origen del almidón, la modificación y el medio que se utilizó. En el Índice de Hinchamiento se produjo una diferencia del 145.5% entre los almidones de la raíz de ***Sechium edule*** no modificado y pregelatinizado aumentando el resultado en este último. El Punto de Gelatinización estuvo entre 53°C y 59°C considerando estas temperaturas dentro de los valores normales de los almidones. La Capacidad de Retención de Agua se vio incrementada por la pregelatinización del almidón de la raíz de ***Sechium edule***. Además se evaluaron otras pruebas complementarias tales

como: Sustancias Solubles, Acidez Titulable, Pérdida por Secado, Valoración de Fosfatos, Densidad Verdadera, Densidad Global y Porosidad.

A todas las pruebas se les realizó un análisis de varianza ANOVA, haciendo uso de dos hipótesis que permitieron determinar si existía o no diferencia significativa entre los almidones estudiados y en algunos casos se empleó el método T de Tukey, para detectar donde se encontraba la diferencia significativa entre ellos. Se espera que en futuras investigaciones se complemente esta caracterización con una determinación microbiológica y toxicológica asociada a este producto y que se prueben aplicaciones industriales afines a los almidones de este tipo.

**CAPITULO I**  
**INTRODUCCION**

## 1. INTRODUCCIÓN

La industria farmacéutica así como la industria de alimentos utilizan almidón con diversos propósitos. Tradicionalmente las fuentes de almidón para suplir sus necesidades han sido: maíz, yuca, papa, etc. Hoy en día, el Starch 1500®, un almidón pregelatinizado extraído del maíz, es el más utilizado para la elaboración de medicamentos y productos cosméticos, entre otros.

La tendencia del mercado de los almidones es hacia un incremento de los precios debido a que es un producto de importación, requiere altos costos de transporte y compite con otros usos novedosos del maíz como la fabricación de biocombustible y con su uso tradicional como alimento para humanos y animales.

Otras fuentes de almidón que pueden resolver las condiciones planteadas han comenzado a considerarse. El almidón extraído de las raíces de ***Sechium edule*** (güisquil) ha sido evaluado por investigadores mexicanos (Garzón, S. M.) en el año 2006.

En El Salvador, la utilización del güisquil se ha reducido al consumo del fruto como verdura, solo en pocas ocasiones se consume la raíz como si fuese una verdura adicional. El uso de la raíz del güisquil con otros fines puede potenciar el cultivo del mismo, reducir los costos de producción del fruto, desarrollar un manejo diferente del cultivo, etc.

El güisquil es cultivado en todo El Salvador en sus diferentes formas y colores, pero el güisquil más aceptado es el verde sin espinas. Esta preferencia nos permite contar con áreas de siembra significativas y esparcidas a nivel nacional; un ejemplo de ello es la guisquilera ubicada en el cantón Entre Ríos, Municipio de Colón, Departamento de la Libertad, seleccionada como punto de muestreo por ser la más representativa y por su geografía, por lo que después de recolectar raíces de 2 a 3 años de desarrollo se realizó la extracción del almidón obteniendo un porcentaje de rendimiento de 12.8%. Después de obtener el almidón no modificado, se toma una parte de este para pregelatinizarlo y poder llevar a cabo la caracterización de estos junto al almidón comercial Starch 1500®.

La caracterización del almidón extraído de la raíz de ***Sechium edule*** (güisquil) y su valoración frente al almidón Starch 1500® permitió estimar su potencial de uso industrial, además se comprobó que fisicoquímicamente el almidón de la raíz de ***Sechium edule*** no modificado y pregelatinizado presentan características similares al estándar de trabajo Starch 1500®, mientras que la interpretación estadística de los resultados en las pruebas de caracterización como la Viscosidad, Índice de Hinchamiento, Punto de Gelatinización y Capacidad de Retención de Agua, entre otras, indicaron que existe diferencia significativa entre ellos.

**CAPITULO II**  
**OBJETIVOS**

## 2.0 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar fisicoquímicamente el almidón de raíz de ***Sechium edule*** (güisquil) verde sin espinas de El Salvador, no modificado y pregelatinizado, comparado con el almidón comercial Starch 1500®.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

**2.2.1** Extraer almidón no modificado de la raíz de ***Sechium edule*** (güisquil) nativo de El Salvador a través de un método convencional.

**2.2.2** Modificar mediante un proceso de pregelatinización una parte del almidón extraído de la raíz de ***Sechium edule***.

**2.2.3** Caracterizar simultáneamente el almidón no modificado, pregelatinizado y el almidón comercial Starch 1500®.

**2.2.4** Interpretar los resultados fisicoquímicos por medio de análisis estadísticos para conocer si el almidón extraído de la raíz del ***Sechium edule*** es comparable con el almidón comercial Starch 1500® y demostrar si hay alguna diferencia entre almidón no modificado y el almidón sometido a proceso de pregelatinizado.

**CAPITULO III**  
**MARCO TEORICO**

## 3.0 MARCO TEÓRICO

### 3.1 Monografía de *Sechium edule*

Nombre Científico: ***Sechium edule***

Nombre Común: Güisquil, Ichintal, Pataste, Chayote.

#### 3.1.1 Origen <sup>(23)</sup>

El güisquil (***Sechium edule***) es un fruto de origen centroamericano. Fue cultivada por los aztecas y los mayas. Hoy día, se encuentran en los grandes mercados de Centro América, Estados Unidos y Europa. Crónicas de la época de la Conquista indican que, cuando menos en México, el chayote ha sido cultivado desde épocas precolombinas. En cuanto a las referencias lingüísticas, los nombres comunes de origen nativo se concentran principalmente en México y América Central. En cuanto a los comentarios derivados de la diversidad bajo cultivo de ***Sechium edule***, los registros de exploraciones coinciden en que la mayor variación se encuentra entre el sur de México y Guatemala.

#### 3.1.2 Generalidades <sup>(23)</sup>

El ***Sechium edule*** pertenece a la familia de las Cucurbitáceas, siendo una planta trepadora perenne cuyo fruto es de amplio uso como verdura. El güisquil también conocido como chayote, chayota, tayota, guatilla o guatila, tiene un color que va del verde oscuro al verde claro o amarillo claro casi blanco.

Cuando tierno presenta una cáscara lustrosa y consistencia dura. Puede estar cubierto por espinas o no. El ***Sechium edule*** sin espinas tiene una apariencia más lisa y puede presentar menos hendiduras que el güisquil con espinas (Ver figura N°14 en anexo N°1). Esta es una planta que da fruto durante varios años. En El Salvador el güisquil es sembrado entre los 300 a los 1,500 m.s.n.m. y se siembra mucho en Caluco (Sonsonate), Colon (La Libertad), Los Planes de Renderos (San Salvador), Berlín (Usulután), y Cojutepeque (Cuscatlán). (Ver anexos N°4 y N°5).

### **3.1.3 Descripción de la Planta** (27)

El ***Sechium edule*** es una planta trepadora de rápido crecimiento, que se cultiva por su fruto. Las hojas son grandes, moderadamente onduladas y generalmente con manchas blancas en su superficie, de consistencia rugosa y fuertes que se disponen de forma alterna con 5 lóbulos. Tiene zarcillos laterales para asirse a las plantas vecinas o estructuras de cultivo. (Ver figura N° 15 en anexo N° 1). Las flores son medianas, masculinas en racimos axilares, de color amarillo y blanco. El cáliz es globoso de 5 dientes anchos y puntiagudos. La corola está soldada al cáliz de 5 divisiones triangulares, con 5 estambres monodelfos. Las flores hembras están solitarias en el ángulo de las hojas del mismo tipo que las masculinas, pero de cáliz más delgado y largo. El fruto tiene forma de baya redonda, aplanada de una sola celda, semilla ovalar, comprimida y colgando del apéndice. (Ver figura N° 16 en anexo N° 1).

La raíz es gruesa, carnuda y feculenta, de buen sabor y de color blanco. Respecto a su composición al igual que otros tubérculos, la raíz del güisquil contiene almidón. (Ver figura N° 24 en anexo N° 2)

Una planta puede producir de 5 a 7 tubérculos de diferentes tamaños que se comienzan a formar entre el 2° y 3° año que ha sido sembrado el güisquil.

El sistema radical del güisquil es superficial con una raíz principal muy desarrollada (adulta) la cual es comestible y puede llegar a pesar más de 8 libras. (Ver figura N° 17 en anexo N°1). El tallo es delgado, rastroso o trepador que puede alcanzar hasta 15 metros de longitud. Produce una fibra blanca plateada. Los requerimientos de clima para el desarrollo de esta planta pueden ser variados, la temperatura óptima para el desarrollo del cultivo de güisquil oscilan entre 13°C a 27° C; requiere alta humedad relativa entre 80 y 85% y una precipitación entre 1.500 y 2.000 mm, bien distribuidos a través del año. El riego en la época seca es imprescindible.

#### **3.1.4 Distancia de siembra (27)**

La distancia entre las plantas oscila entre 4 x 4 m hasta 8 x 8 m, siendo la más empleada de 6 x 6 m.

#### **3.1.5 Densidad de siembra (27)**

La densidad de la siembra para este cultivo es muy variable que va desde 156 a 625 plantas/hectárea.

### **3.1.6 Periodo vegetativo** (27)

Esta es una cucurbitácea que se puede cultivar durante todas las épocas del año.

### **3.1.7 Preparación del suelo** (23)

El sitio de siembra se prepara previamente mediante la excavación del suelo de una cavidad lo suficientemente grande que permita que las raíces alcancen su máximo desarrollo, además necesita de un suelo franco de pH: 6 a 6.8.

Elegido el lugar donde se plantará el güisquil, se hace una excavación y se pone en él, tierra fértil o un buen abono. Luego se coloca el güisquil levemente inclinado con su boca hacia abajo y se cubre solo la mitad. (Ver figura N° 18 en anexo N° 1).

### **3.2 Generalidades del almidón** (26)

El almidón es un polisacárido vegetal que se almacena en las raíces, tubérculos y semillas de las plantas. (Ver figura N° 19 en anexo N° 1). Está en el endospermo de todos los granos. El almidón se puede hidrolizar a glucosa y proporcionar al hombre la energía necesaria para que el cerebro y el sistema nervioso central funcionen.

Los granos de almidón o gránulos contienen polímeros de glucosa de cadena larga y son insolubles en agua. A diferencia de las moléculas pequeñas de sal o azúcar, los polímeros más largos de almidón no forman una solución verdadera.

Los gránulos de almidón forman una suspensión temporal cuando se agitan en agua; estos sin cocer pueden hincharse ligeramente a medida que absorben agua. Sin embargo una vez que el almidón se cuece, el hinchamiento es irreversible. Esta característica de los gránulos de almidón permite que el almidón se use como espesante.

Globalmente las características de los almidones están determinadas por la procedencia del almidón, la temperatura de calentamiento y la concentración de almidón usada en una formulación. Hay muchos tipos de almidones y en algunos casos existen almidones modificados.

### **3.2.1 Procedencia del Almidón <sup>(3)</sup>**

El almidón proviene de diversas fuentes con diferentes estructuras cristalinas. Los granos de cereal como maíz, trigo o arroz son fuentes de almidón, así como las raíces, tubérculos y legumbres, etc. (Ver anexo N° 3).

### **3.2.2 Forma del gránulo de almidón <sup>(26)</sup>**

Los gránulos de almidón forman diversos granos que difieren en tamaño, oscilando desde 2 a 150 micras y su forma que puede ser redonda o poligonal dependiendo de su fuente de obtención. (Ver figura N° 20 en anexo N°1).

### 3.2.3 Componentes principales del almidón (26)

El almidón es la forma principal de reservas de carbohidratos en los vegetales, es una mezcla de dos sustancias: *amilosa*, un polisacárido esencialmente lineal, y *amilopectina*, un polisacárido con una estructura muy ramificada. Las dos formas de almidón son polímeros de  **$\alpha$ -D-Glucosa**. Los almidones naturales contienen 10-20% de amilosa y 80-90% de amilopectina. La amilosa forma una dispersión coloidal en agua caliente, mientras que la amilopectina es completamente insoluble debido a sus ramificaciones.

Las moléculas de **amilosa** consisten típicamente de 200 a 20,000 unidades de glucosa que se despliegan en forma de hélice como consecuencia de los ángulos en los enlaces entre las moléculas de glucosa. (Ver figura N° 21 en anexo N° 1).

La **amilopectina** se distingue de la amilosa por ser muy ramificada. Cadenas laterales cortas conteniendo aproximadamente 30 unidades de glucosa, se unen con enlaces  $1\alpha\rightarrow6$  cada veinte o treinta unidades de glucosa a lo largo de las cadenas principales. Las moléculas de amilopectina pueden contener hasta dos millones de unidades de glucosa. (Ver figura N° 22 en anexo N° 1).

En función de la proporción amilosa/amilopectina así serán las dos propiedades fundamentales que presentan: Absorción y Retención de agua y Capacidad de formación de gel. Así mismo esta proporción determinará las propiedades funcionales de los almidones.

Habitualmente, los dos tipos de almidón se encuentran juntos, pero los almidones pueden contener sólo amilosa o solo amilopectina.

### **3.2.4 Características de los almidones <sup>(3)</sup>**

Los almidones se caracterizan por formar una suspensión temporal de partículas, que no se disuelven en el medio que las rodea y se depositan en el fondo de un recipiente con líquido, si no se agita. Las partículas pueden embeber una pequeña cantidad de agua, pero, generalmente los gránulos de almidón no dañados son insolubles en agua fría, debido a la fuerza colectiva de los puentes de hidrógeno, que mantienen unidas las cadenas; a medida que la temperatura se eleva hasta lo que se conoce como temperatura inicial de gelatinización, comienzan a absorber agua. Las temperaturas iniciales de gelatinización son características de cada tipo concreto de almidón, pero generalmente se hallan en el intervalo 55-70° C.

Existen diferentes factores que requieren control durante el proceso de gelatinización, entre ellos están:

- Agitación
- Temperatura
- Tiempo de calentamiento
- Tipo de calentamiento

Cuando se calienta el almidón en presencia de agua, se produce imbibición, o incorporación de agua en el gránulo. Esto se da primero en las áreas menos densas y, posteriormente, en las regiones más cristalinas de las moléculas de almidón.

A medida que prosigue la imbibición y que los gránulos hinchados comienzan a chocar, aumenta espectacularmente la viscosidad de la suspensión-disolución. La captación de agua por el almidón es irreversible si el almidón se seca; mientras no se ha cocido, presenta una formación de birrefringencia en el gránulo cuando se ve por luz polarizada con un microscopio electrónico, ya que es una estructura muy ordenada y la luz se refracta en dos direcciones.

Esta es una etapa irreversible en el proceso de gelatinización. A medida que el calentamiento continúa, los gránulos de almidón captan más agua irreversiblemente y se hincharán y espesarán mezclas a temperaturas ligeramente diferentes, hinchándose antes los gránulos más grandes que los gránulos más pequeños y algunas cadenas cortas de amilosa saldrán de los gránulos. Este proceso, llamado *Gelatinización*, es responsable del espesamiento de los sistemas en los cuales es aplicado. Si se sigue calentando mientras se agita, la viscosidad comienza a decaer a medida que los gránulos van perdiendo su integridad. Si se deja que la pasta se enfríe, la viscosidad vuelve a elevarse, a medida que las uniones a través de puentes de hidrogeno entre la amilopectina y la amilosa se restablecen para rendir un producto de consistencia tipo Gel. A medida que el almidón sale del gránulo hinchado, la

mezcla se convierte en un Sol. Un sistema de dos fases constituidas por una fase líquida continua y una fase sólida dispersa. Se puede verter y tiene baja viscosidad. Estos cambios pueden seguirse mediante un viscosímetro.

Cuando una suspensión-disolución de almidón se deja en reposo, comienza a mostrar cambios en sus propiedades reológicas; las disoluciones diluidas pierden viscosidad pero los geles se tornan gomosos y exudan agua. Los dos tipos de cambios señalados se deben a un fenómeno denominado: retrogradación, que afecta a las moléculas de amilosa.

La gelatinización puede ser sinónimo de formación de pasta, aunque la gelatinización y la formación de la pasta se pueden considerar como dos acontecimiento secuenciales.

### **3.2.5 Almidones Modificados** <sup>(34)</sup>

Los almidones naturales se pueden modificar químicamente para producir cambios físicos que contribuyan a la estabilidad, apariencia, funcionamiento y mejoras en los productos que se desarrollan a partir de él.

Estas modificaciones permiten adecuar las propiedades a la finalidad tecnológica que se requiera, así por ejemplo tenemos que los siguientes procesos mejoran las siguientes funciones:

- **Gelatinización:** permite obtener almidones que no requieren un posterior calentamiento para adquirir sus propiedades espesantes.

- **Hidrólisis:** acorta algunas cadenas del polisacárido obteniendo pastas que en caliente presentan poca viscosidad mientras que se logran texturas gomosas por los geles débiles que se forman en frío.
- **Esterificación:** reduce la temperatura de gelatinización así como la retrogradación.
- **Oxidación:** disminuye la temperatura de gelatinización y la viscosidad. Se obtienen pastas fluidas y transparentes.
- **Pregelatinización:** tiene como características que es de dispersión instantánea en agua, la proteína se hidrata y se inactivan los microorganismos y las enzimas, esto permite que la viscosidad de las pastas no disminuya como en las harinas nativas.
- **Retrogradación:** la amilosa retrogradada es insoluble en agua y presenta hinchamiento progresivo durante la humectación; la estructura ramificada de la amilopectina la mantiene estable en solución, por lo que su precipitación es más difícil, hecho que favorece la retrogradación de la amilosa. La textura superficial que adquieren las partículas y los cambios sufridos en la red cristalina, le imparten propiedades de cohesión al almidón conservando su capacidad desintegrante.

### 3.3 Generalidades de los almidones comerciales <sup>(33)</sup>

El tamaño y la forma del gránulo de almidón son característicos de cada especie botánica, y esto se ha aprovechado en el desarrollo de diferentes

métodos microscópicos para identificar el origen de los distintos almidones. En un mismo cereal se distinguen varios tipos de gránulos; en general, los que se encuentran en la zona más exterior del endospermo son poliédricos, mientras que los del interior son redondos pero puede ser variable dependiente de la fuente de donde se obtenga dicho almidón.

### **3.3.1 Procedimiento general de obtención de almidones comerciales** <sup>(33)</sup>

Uno de los métodos para obtener almidón de manera comercial es mediante la llamada molienda húmeda que se hace con el grano de maíz, y que consiste en los siguientes pasos:

Se limpian los granos y se maceran en agua a 50 °C de 24 a 48 horas (se le puede añadir 1.1 a 1.2% de anhídrido sulfuroso como agente microbiano); en esta etapa el maíz absorbe agua hasta alcanzar un contenido de 45 a 50%, con lo cual se ablanda el grano y se facilita su trituración; durante este proceso se desprende el germen que se recupera por flotación o mediante un sistema de hidrociclones. La suspensión resultante se muele y se filtra, y por diferencia de densidades se separa el almidón de las proteínas. La fracción que contiene polisacárido se purifica hasta reducir su contenido de proteínas a un valor menor de 0.3%; posteriormente se concentra y se seca por métodos como el tambor rotatorio o el de aspersion.

Los subproductos también tienen un alto valor comercial ya que el germen se usa para la extracción de aceite comestible y el gluten, rico en proteínas, para el consumo humano y animal.

Queda mucho por hacer en cuanto a las características que hacen más conveniente la distribución de estos productos y más fácil su transformación, y que ponen de relieve las propiedades físicas, químicas y orgánicas requeridas por los mercados a los que se destinan. Para los almidones que carezcan de las características funcionales innatas buscadas, habrá que realizar un esfuerzo mayor para agregarles valor o modificarlos para que puedan competir internacionalmente.

**CAPITULO IV**  
**DISEÑO METODOLÓGICO**

## 4.0 DISEÑO METODOLÓGICO

El diseño metodológico consistió en:

- Tipo de estudio
- Investigación bibliográfica
- Investigación de campo
- Parte experimental

### 4.1 Tipo de estudio

Experimental: porque se realizaron análisis y pruebas fisicoquímicas al almidón obtenido de la raíz de güisquil.

Retrospectivo: ya que los análisis realizados se basaron en estudios anteriores.

Prospectivo: porque dicho estudio será la base para futuras investigaciones.

### 4.2 Investigación bibliográfica

- Biblioteca Dr. Benjamín Orozco de la Facultad de Química y Farmacia, Facultad de Ciencias Agronómicas y Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas de la Universidad de El Salvador.
- Biblioteca "P. Florentino Idoate, S.J.", Universidad Centroamericana José Simeón Cañas.
- Biblioteca de la Facultad de Química y Farmacia de Universidad Salvadoreña Alberto Masferrer.
- Biblioteca del Jardín Botánico La Laguna

- Biblioteca del Ministerio de Agronomía y Ganadería (MAG)
- Biblioteca del Ministerio de Economía.
- Oficinas Informativas de Aduanas de El Salvador.
- Internet

### **4.3 Investigación de Campo**

Se caracterizó el almidón de la raíz del *Sechium edule* verde sin espinas.

#### **4.3.1 Universo**

Estuvo conformado por las raíces de *Sechium edule* verde sin espinas de las güisquileras del territorio Salvadoreño.

#### **4.3.2 Tipo de Muestreo**

- Aleatorio por conglomerados ya que se consideraron varias de las güisquileras de la zona central de El Salvador con características parecidas (güisquil verde sin espinas, raíces de 2 a 3 años) y se analizaron completamente algunas de ellas descartando las demás; de las güisquileras analizadas se eligió la más representativa tomando en cuenta la zona geográfica.
- Puntual dirigido ya que se eligió la zona de recolección por criterio propio.

#### **4.3.3 Punto de muestreo**

La recolección de las raíces de *Sechium edule* se hizo en las güisquileras ubicadas en el caserío El Rodeo, Cantón Entre Ríos, Municipio de Colon, Departamento de La Libertad, El Salvador, en el mes de Agosto de 2009.

El almidón comercial Starch 1500® (estándar de trabajo) fue adquirido de un laboratorio farmacéutico de El Salvador en el mes de Agosto de 2009.

#### 4.3.4 Tamaño de la muestra

350.0 g de almidón de raíz de *Sechium edule* no modificado

300.0 g de Starch 1500® (estándar de trabajo).

#### 4.3.5 Métodos de obtención de datos estadísticos (4)

Método: Análisis de varianza en un sentido (ANOVA).

Distribución F

La prueba estadística se basa en la razón de dos varianzas; donde dichas varianzas permitieron descubrir si se acepta o rechaza la hipótesis nula; si el valor de F real es inferior al teórico, se acepta, caso contrario se rechaza y se procede a emplear el método llamado T de Tukey. Dicho método permite determinar cuál es la diferencia entre los tres tipos de almidones en estudio.

Se plantearon dos hipótesis:

$H_{nula}(H_0)$ : No existe diferencia significativa entre los tres almidones analizados a un nivel de significancia de 0.05.

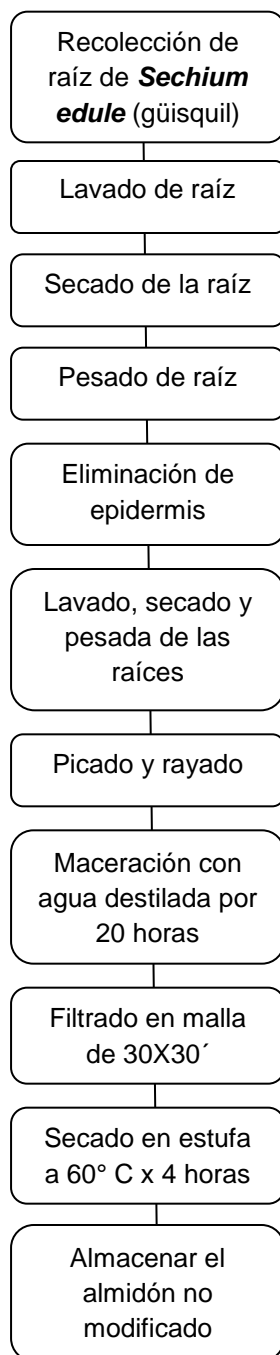
$H_0: \mu_A = \mu_B = \mu_C$

$H_{alternativa}(H_1)$ : Si existe diferencia significativa entre los tres almidones analizados a un nivel de significancia de 0.05.

$H_a: \mu_A \neq \mu_B \neq \mu_C$

## 4.4 Parte Experimental

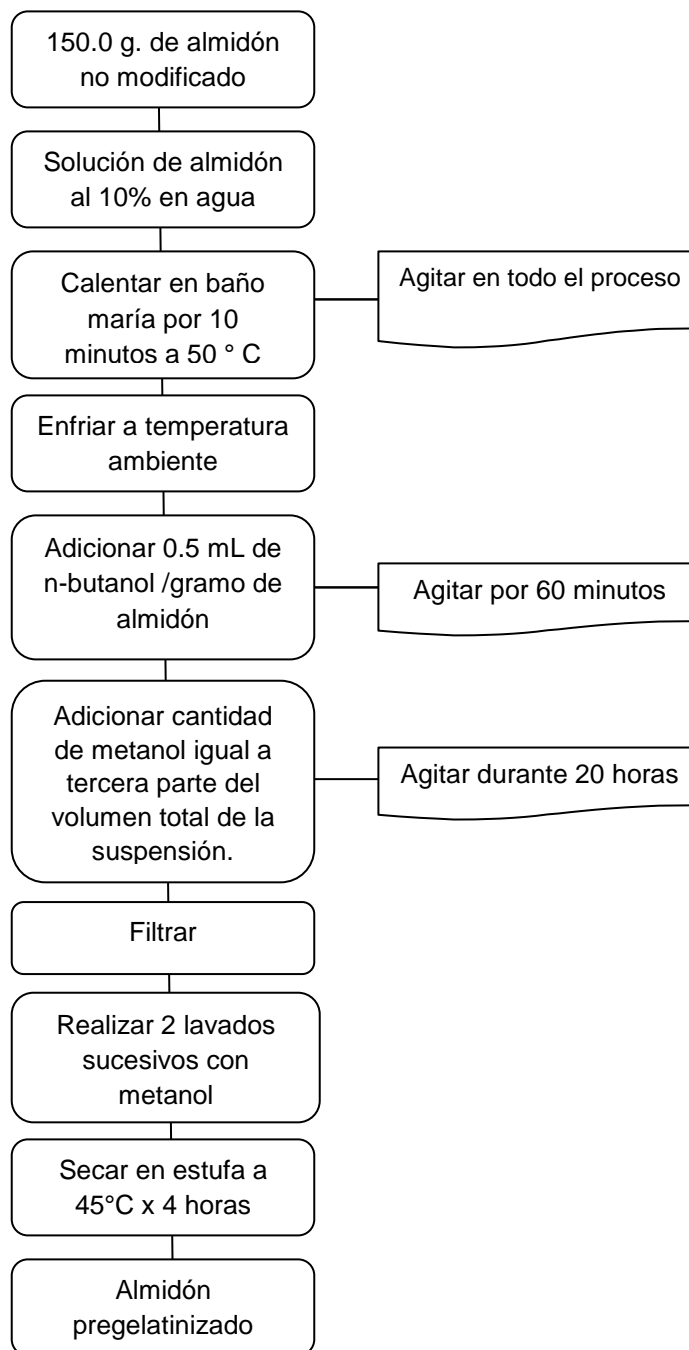
### 4.4.1 Extracción de almidón de raíz de *Sechium edule*



**Figura N° 1:** Esquema del procedimiento general para la obtención de almidón

no modificado de raíz de **Sechium edule**. (12)

#### 4.4.2 Obtención de almidón pregelatinizado



**Figura N° 2:** Esquema del procedimiento general para la obtención de almidón pregelatinizado de raíz de *Sechium edule*. (12)

### 4.4.3 Determinación del porcentaje de materia seca de la raíz de *Sechium edule*

#### 4.4.3.1 Materia seca <sup>(8)</sup>

Se fundamenta en la necesidad de determinar aquel parámetro que permite calcular la cantidad real de materia seca disponible en un peso (X gramos de raíz de *Sechium edule*), ya que debido a la naturaleza hidrofílica retiene una gran cantidad de agua en su interior.

#### Procedimiento:

- Pesar un vidrio de reloj previamente tarado en balanza semi-analítica.
- Pesar X g de raíz de *Sechium edule* sin epidermis en balanza semi-analítica.
- Poner en estufa a 120 °C por 2 horas.
- Enfriar en desecador y pesar materia seca en balanza semi-analítica.
- Sacar rendimiento.

**Nota:** se recomienda emplear balanza analítica para la obtención de datos exactos ya que para este análisis no se facilitó el uso de esta balanza.

Cálculos:

$$P_{\text{inicial}} = (\text{Peso de vidrio de reloj} + \text{Peso de muestra sin secar}) - \text{Peso vidrio de reloj}$$

$$P_{\text{final}} = (\text{Peso de vidrio de reloj} + \text{Peso de materia seca}) - \text{Peso de vidrio de reloj}$$

$$P_{\text{ms(g)}} = P_{\text{final}}$$

Donde:

$$P_{\text{inicial}} = \text{Peso de muestra sin secar en gramos.}$$

$$P_{\text{ms (g)}} = \text{Peso de muestra seca en gramos.}$$

Cálculo para determinar el porcentaje de materia seca:

$$\% \text{ Materia seca} = \frac{P_{ms}}{P_{inicial}} \times 100$$

#### **4.4.4 Pruebas de caracterización de almidón sin modificar y pregelatinizado de la raíz de *Sechium edule* y el almidón comercial Starch 1500®.**

Todos los resultados obtenidos de las siguientes determinaciones fueron comparados con el estándar de trabajo Starch 1500® que también fue caracterizado usando el mismo procedimiento.

##### **4.4.4.1 Pruebas principales de caracterización de almidones**

###### **4.4.4.1.1 Viscosidad**

Método de Brookfield <sup>(6)</sup>

Se basa en la rotación de una aguja o cilindro dentro del material de prueba. El dial del instrumento está graduado de manera tal que la lectura, multiplicada por un factor, da directamente la viscosidad en centipois. El aparato está accionado por un motor sincrónico de baja velocidad y alto torque. El mecanismo del tren de engranaje permite diferentes aumentos de cizalla con lo que podemos medir un amplio intervalo de viscosidad con el mismo instrumento. Materiales no newtonianos (Tixotrópicos, dilatantes, plástico) pueden ser medidos a diferentes valores de cizalla, fácil y rápidamente, cambiando la aguja, la velocidad, o ambos.

Procedimiento:

Se usó un viscosímetro Brookfield Digital Modelo RV-DVE (Ver figura N° 28 en anexo N° 6)

Se prepararon soluciones de almidón al 2% en agua destilada, en hidróxido de potasio 0.1 M TS y en solución de cloruro de potasio 0.33 M y se siguió con el procedimiento descrito en el manual del equipo (Ver anexo N° 13).

#### **4.4.4.1.2 Índice de Hinchamiento (IH)**

Este proceso provoca la ruptura de las uniones intermoleculares amilosa/amilopectina, y la capacidad de formación de enlaces, que se satisface mediante la captación de agua del medio, que en el interior del grano provoca la distensión de las cadenas, aumentando el volumen del sólido.

Se procedió mediante lo descrito por Ukpabi y Ndimeli. <sup>(8)</sup>

Se transfirieron 3.0 g de almidón en base seca a una probeta de 10 mL y se midió su volumen, se adicionó agua destilada hasta completar un volumen de 9 mL, se homogenizó y se dejó reposar durante 10 minutos y se anotó su volumen, luego se midió el volumen cada 10 minutos, hasta notar que éste no variara.

Calcular el Índice de hinchamiento con la siguiente ecuación:

$$\text{Índice de Hinchamiento} = \frac{\text{Volumen de agua absorbida}}{\text{Volumen de la sustancia que la absorbe}} \times 100$$

#### 4.4.4.1.3 Determinación del Punto de Gelatinización

Se determinó según el método descrito por Narayana & Narasinga-Rao. (8)

Se prepararon 100 mL de suspensión a partir de 10.0 g de muestra en base seca, la cual se calentaron en un hot-plate con agitador magnético y se introdujo un termómetro en la suspensión. El calentamiento fue continuo hasta que la solución comenzó a formar gel, y se tomó esta temperatura.

#### 4.4.4.1.4 Capacidad de Retención de Agua (12)

Una dispersión de un gramo de almidón en 15 mL de agua, se agitó durante unos minutos, se centrifugó a 3300 rpm (Ver figura N° 29 en anexo N° 6) y se decantó el líquido sobrenadante y se pesó el sedimento en balanza semi-analítica. La capacidad de retención de agua está dada por el aumento de peso.

Cálculo:

$$\text{Capacidad de retención de agua} = \frac{\text{Peso de agua imbibida}}{\text{Peso de la sustancia que la imbibió}} \times 100$$

#### 4.4.4.2 Pruebas complementarias de caracterización

##### 4.4.4.2.1 Sustancias Solubles (12)

Se taró una capsula de porcelana a 105 °C por 30 minutos, se dejó enfriar en desecador y se pesó en balanza semi-analítica; luego, del sobrenadante obtenido de la prueba de capacidad de retención de agua, se tomaron 4 mL, se adicionaron a la cápsula de porcelana previamente tarada, se evaporó y secó

hasta peso constante. El peso del residuo corresponde a las sustancias solubles.

$g_{\text{sustancias solubles}} = \text{Peso cápsula tarada con residuo} - \text{Peso de la cápsula tarada}$

#### 4.4.4.2.2 Acidez Titulable (8)

Es el procedimiento usual para determinar la concentración total de ácidos, la cual consiste en una alícuota de la solución que contiene el ácido y se titula con una solución estándar de Hidróxido de sodio 0.1 N hasta llegar al punto de equivalencia. Este punto final puede detectarse mediante indicadores (cambio de color rosado), electrométricamente (pHmetro), etc.

Procedimiento:

Se determinó según el método de IAL (7). Pesar en balanza semi-analítica 10.0 g de muestra de almidón base seca, adicionar 20 mL de agua destilada, agitar hasta formar una pasta fina, agregar 80 mL mas de agua destilada y 4 gotas de solución alcohólica de fenolftaleína, luego proceder a titular con solución de NaOH 0.1 N ; el cálculo se realizó con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ acidez} = \frac{V_{\text{NaOH } 0.1\text{N}} \times N_{\text{NaOH}} \times FC}{P_{\text{mx}}} \times 100$$

Donde:

% acidez: Porcentaje de acidez titulable

$V_{\text{NaOH } 0.1\text{N}}$ : mL de solución de hidróxido de sodio 0.1N gastado en la titulación

N: Normalidad de la solución de hidróxido de sodio

FC: Factor de corrección del hidróxido de sodio

Pmx: Peso en gramos de muestra

#### **4.4.4.2.3 Pérdida por Secado** <sup>(12)</sup>

Se basa en que mediante calor se pierde el agua que los almidones absorben debido a que son sustancias higroscópicas. Se consideran que en condiciones normales pueden llegar a absorber hasta un 14% de humedad. Los almidones con estructura del grano más desordenada, absorben agua más fácilmente, sobre todo en condiciones de alta humedad.

Procedimiento:

- Se colocó una cápsula de porcelana limpia y seca en estufa a 105°C por 30 minutos; posteriormente se sacó de la estufa y dejó enfriar a temperatura ambiente en un desecador, luego se pesó la cápsula en balanza semi-analítica (tara de cápsula). Pesar 1.000 g de muestra (almidón) en la cápsula utilizando balanza semi-analítica (tara de cápsula + muestra). Se secaron en estufa a 120°C por 2 horas. Retirar de estufa y dejar enfriar en desecador por 30 minutos o hasta temperatura ambiente. Se pesó la cápsula + muestra seca en balanza semi-analítica y luego se calculó la pérdida por secado con la siguiente ecuación:

Fórmulas:

- 1) Peso de cápsula de porcelana vacía tarada(g)
- 2) Peso de cápsula de porcelana tarada(g) + Muestra antes de secar(g)

- 3) Peso de cápsula de porcelana tarada(g) + Muestra después de secar( g)
- 4) Peso de cápsula de porcelana tarada(g) + Muestra antes de secar(g) –  
Peso de cápsula de porcelana vacía tarada(g) = Peso inicial de muestra  
antes de secar(g)
- 5) Peso de cápsula de porcelana tarada(g) + Muestra después de secar( g)–  
Peso de cápsula de porcelana vacía tarada(g) = Peso final de muestra  
después de secar(g)
- 6) Peso inicial de muestra antes de secar(g) – Peso final de muestra después  
de secar(g) = Peso de la Pérdida de Peso (g)

$$\% \text{ de Pérdida por secado} = \frac{\text{Pérdida de peso(g)}}{\text{Peso inicial de muestra antes de secar(g)}} \times 100$$

**Nota:** se recomienda emplear balanza analítica para la obtención de datos exactos ya que para este análisis no se facilitó el uso de esta balanza.

#### 4.4.4.2.4 Valoración de Fosfatos <sup>(37)</sup>

##### Fundamento

El fósforo se determina espectrofotométricamente midiendo la cantidad de luz absorbida por la muestra, cuando un haz de luz (a una longitud de onda de 420 nm) pasa a través de ella. Para ello se necesita que los fosfatos formen un complejo coloreado entre el fósforo y un agente a complejante.

### **Preparación de solución madre**

1. Pesar 1.000 g. de muestra en balanza semi-analítica y colocarla en crisol de porcelana
2. Calcinar en mechero hasta que comienza a formar ceniza y se eliminan los vapores
3. Calcinar en mufla a 550°C durante 6 horas (Ver figura N° 30 en anexo N°6) para obtener cenizas blancas
4. Humedecer las cenizas con unas gotas de agua y agregar 6.0 mL de HCl concentrado
5. Evaporar lentamente hasta sequedad en Hot-plate
6. Tratar el residuo con 13 mL de una mezcla de 10.0 mL de agua destilada y 3.0 mL de HCL concentrado y calentar hasta desprendimiento de humos blancos
7. Filtrar haciendo uso de papel filtro (poro sencillo), recibir el filtrado en un balón volumétrico de 100.0 mL
8. Lavar el papel filtro repetidas veces con agua destilada caliente
9. Dejar enfriar y aforar a volumen con agua destilada

**Nota:** se recomienda emplear balanza analítica para la obtención de datos exactos ya que para este análisis no se facilito el uso de esta balanza.

### Procedimiento

1. Se pipeteó en un tubo de ensayo 5.0 mL de solución madre.
2. Se pipeteó en otros 2 tubos 2.0 mL de reactivo vanado-molibdico. Se selló con tapón de rosca y agitó inmediatamente durante 30 segundos formándose un complejo colorimétrico amarillo.
3. Se dejó en reposo 15 minutos.
4. Se transfirió la muestra y los estándares a celdas del espectrofotómetro (Ver figura N° 31 en anexo N° 6) y se leyeron a una longitud de onda de 420 nm.
5. Se anotaron las absorbancias leídas.

Calcular las ppm de fosfatos para cada muestra mediante la ecuación siguiente:

$$C_{mx} = \frac{A_{mx} \times C_{st}}{A_{st}} \times FD$$

Donde:

C<sub>mx</sub>: Concentración de la muestra (ppm)

C<sub>st</sub>: Concentración del estándar (ppm)

A<sub>mx</sub>: Absorbancia de la muestra

A<sub>st</sub>: Absorbancia del estándar

FD: Factor de dilución

#### 4.4.4.2.5 Densidad Verdadera (DT), Densidad Global (DB) y Porosidad <sup>(8)</sup>

Se desarrollaron según el método descrito por Samejima, Irate & Koida, denominado método de desplazamiento de volumen. <sup>(8)</sup>

Una porción de muestra de volumen  $V_1$ , se adicionó a una probeta obteniéndose un peso  $W_2$ , el peso de la probeta es  $W_1$ ; posteriormente el mismo volumen  $V_1$  de un fluido de desplazamiento (alcohol isobutílico, ácido ftálico a una relación de 1:1) se adicionó a una probeta. El volumen total comprendido por el volumen de la muestra más el volumen del fluido de desplazamiento en la probeta se denomina:  $V_2$ .

DT, DB y la Porosidad, se calcularon a partir de las siguientes ecuaciones:

$$DT = \frac{W_2 - W_1}{V_2 - V_1} \quad ; \quad DB = \frac{W_2 - W_1}{V_1} \quad ; \quad \text{Porosidad} = 1 - \frac{DB}{DT}$$

**CAPITULO V**  
**RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

## 5.0 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 5.1 Materia Seca

#### 5.1.1 Resultados de Materia Seca para la raíz de *Sechium edule*

Los siguientes datos muestran el porcentaje de materia seca que contiene la raíz de *Sechium edule*.

Ejemplo de cálculo:

Formulas:

$$P_{\text{inicial}} = (\text{Peso de vidrio de reloj} + \text{Peso de muestra sin secar}) - \text{Peso vidrio de reloj}$$

$$P_{\text{final}} = (\text{Peso de vidrio de reloj} + \text{Peso de materia seca}) - \text{Peso de vidrio de reloj}$$

$$P_{\text{ms(g)}} = P_{\text{final}}$$

Donde:

$$P_{\text{inicial}} = \text{Peso de muestra sin secar en gramos.}$$

$$P_{\text{final}} = P_{\text{ms (g)}} = \text{Peso de materia seca.}$$

Porcentaje de materia seca:

$$\% \text{ Materia seca} = \frac{P_{\text{ms}}}{P_{\text{inicial}}} \times 100$$

#### Repetición 1

$$P_{\text{inicial}} = (162.7) - 55.1 = 107.6 \text{ g}$$

$$\% \text{ Materia seca} = \frac{18.5 \text{ g}}{107.6 \text{ g}} \times 100\% = 17.2\%$$

$$P_{\text{final}} = (73.6) - 55.1 = 18.5 \text{ g}$$

$$P_{\text{final}} = P_{\text{ms(g)}}$$

**Tabla N° 1:** Resultados de la prueba de materia seca realizada a la raíz de *Sechium edule*

Raíz	Numero de repetición	Peso de raíz sin epidermis(g)	Peso de materia seca(g)	Porcentaje de materia seca (%)	Promedio porcentaje de materia seca (%)
<i>Sechium edule</i>	1	107.6	18.5	17.2	17.3
	2	100.3	17.9	17.8	
	3	109.2	18.7	17.1	

### 5.1.2 Discusión de resultados de Materia seca

La raíz de *Sechium edule* tiene un contenido de materia seca bajo (17.3%) en comparación al contenido de materia seca del tubérculo de yuca (37.18%) <sup>(36)</sup>, lo cual indica que esta especie botánica se constituye en su mayoría de agua u otras sustancias. Además puede deberse a factores como el tipo de suelo y condiciones climáticas en que estos se desarrollen así como su textura, su grado de aireación, su capacidad de retención de agua entre otros.

## 5.2 Pruebas principales de caracterización de los almidones

### 5.2.1 Viscosidad

#### 5.2.1.1 Resultados de Viscosidad

Se sabe que la viscosidad es la medida de la resistencia que un fluido ofrece bajo la acción de una fuerza aplicada. Tal determinación se ve influenciada por

diversos factores como el medio en que se lleve a cabo. En las siguientes tablas se muestran los resultados de esta determinación en diferentes medios.

**Tabla N° 2:** Resultados obtenidos de los análisis de viscosidad realizados a los tres almidones a una temperatura de 32 °C.

Tipo de almidón	Medio	pH	Nº spindle	Velocidad RPM	Nº de repetición	Viscosidad Centipois (cP)	Promedio de Viscosidad (cP)
Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> no modificado (A)	Agua	6	02	50	1	132	134
					2	136	
	KOH	13			1	921	934
					2	947	
Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> pregelatinizado (B)	Agua	5	02	50	1	139	141
					2	143	
	KOH	13			1	592	600
					2	608	
Almidón comercial Starch 1500® (C)	Agua	6	02	50	1	161	161
					2	161	
	KOH	14			1	734	738
					2	742	

### 5.2.1.2 Viscosidad de almidón en agua

**Tabla N° 3:** Resultados de la media y desviación estándar de los tres tipos almidones estudiados en la prueba de viscosidad en medio acuoso

Muestra de Almidón	Número de mediciones	Promedio de viscosidad Centipois (cP)	Desviación Estándar (s)
(A)	2	134	2.8284
(B)	2	141	2.8284
(C)	2	161	0.0000

**Tabla N° 4:** Resultados de análisis estadístico ANOVA para prueba de viscosidad en medio acuoso

Fuente	Grados de libertad(GI)	Suma de cuadrados(SS)	Media cuadrada(varianza)	F experimental	F tabla
Entre grupos	2	785.3334	392.6667	73.660	9.552
Dentro del grupo	3	16.0000	5.3300	-	-
Total	5	801.3334	-	-	-

#### 5.2.1.2.1 Interpretación de análisis estadístico de viscosidad en medio acuoso

Para el análisis estadístico de viscosidad en medio acuoso se han planteado las siguientes hipótesis:

- Hipótesis nula ( $H_0$ )

No existe diferencia significativa respecto a la viscosidad en medio acuoso para el almidón de raíz de ***Sechium edule*** no modificado, pregelatinizado y almidón comercial Starch 1500®.

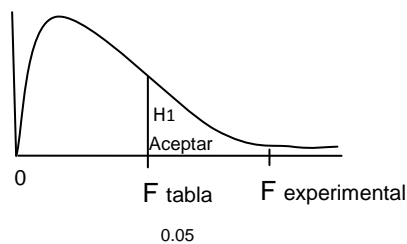
- Hipótesis alternativa ( $H_1$ )

Existe diferencia significativa respecto a la viscosidad en medio acuoso para el almidón de raíz de ***Sechium edule*** no modificado, pregelatinizado y almidón comercial Starch 1500®.

Para que la hipótesis nula se cumpla la F experimental debe ser menor o igual a la F de tabla<sub>0,05</sub> con 5 grados de libertad y para que la hipótesis alternativa se

cumpla la F experimental debe ser mayor a la F de tabla<sub>0.05</sub> con 5 grados de libertad.

Por lo tanto, no se cuenta con suficiente evidencia para decir que los tres almidones son iguales a un nivel de significancia de 0.05 y 5 grados de libertad, ya que la F experimental es mayor a la F de tabla<sub>0.05</sub> ( $73.660 > 9.552$ ).



De esta forma, se toma en cuenta la hipótesis alternativa y se lleva a cabo el método de comparación múltiple T de Tukey, para conocer el grado de diferencia entre los promedios de almidón analizados, donde se declararía significativamente diferente un par específico si la diferencia absoluta entre las medias muestrales de cada almidón es igual o excede el rango crítico (RC=9.64).

Cálculo de rango crítico (RC):

$$RC = Q_{0.05, 3, 3} \sqrt{\frac{5.33}{2}}$$

$$RC = 5.91 \sqrt{\frac{5.33}{2}} = 9.64$$

**Tabla N° 5:** Resultados de las diferencias absolutas empleando el método de comparaciones múltiples: T de Tukey, en la prueba de viscosidad en medios acuoso a un nivel de significancia de 0.05\*

Diferencias absolutas entre las medias muestrales	Almidón comercial Starch 1500® (C)	Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> pregelatinizado (B)	Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> no modificado (A)
Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> no modificado (A)	27*	7	0
Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> pregelatinizado (B)	20*	0	-
Almidón comercial Starch 1500® (C)	0	-	-

Los resultados de las diferencias absolutas indican que tanto el almidón no modificado como el pregelatinizado de la raíz de *Sechium edule* presentan una diferencia significativa con el Starch 1500®, ya que el valor de las medias muestrales es superior al del rango crítico, no así, el dato que se obtuvo entre el almidón A y B el cual es inferior al del rango crítico, por tanto la diferencia es mínima.

### 5.2.1.3 Viscosidad de almidón en hidróxido de potasio (KOH)

**Tabla N° 6:** Resultados de la media y desviación estándar de los tres tipos de almidones estudiados en la prueba de viscosidad en KOH

Muestra de Almidón	Número de mediciones	Promedio de Viscosidad Centipois(cP)	Desviación Estándar (s)
(A)	2	934	18.3848
(B)	2	600	11.3137
(C)	2	738	5.6568

**Tabla N° 7:** Resultados de análisis estadístico ANOVA para prueba de viscosidad en KOH

Fuente	Grados de libertad(GI)	Suma de cuadrados(SS)	Media cuadrada(varianza)	F experimental	F tabla
Entre grupos	2	112,677.33	56338.66	339.400	9.552
Dentro del grupo	3	498.00	166.00	-	-
Total	5	113,175.33	-	-	-

#### 5.2.1.3.1 Interpretación de análisis estadístico de viscosidad en hidróxido de potasio (KOH)

Para el análisis estadístico de viscosidad en hidróxido de potasio se han planteado las siguientes hipótesis:

- Hipótesis nula ( $H_0$ )

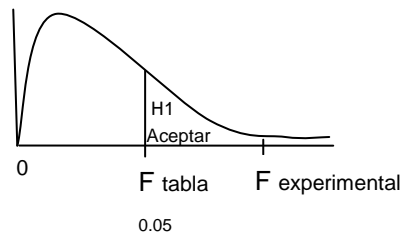
No existe diferencia significativa respecto a la viscosidad en KOH para el almidón de raíz de *Sechium edule* no modificado, pregelatinizado y almidón comercial Starch 1500®.

- Hipótesis alternativa ( $H_1$ )

Existe diferencia significativa respecto a la viscosidad en KOH para el almidón de raíz de *Sechium edule* no modificado, pregelatinizado y almidón comercial Starch 1500®.

Para que la hipótesis nula se cumpla la F experimental debe ser menor o igual a la F de tabla<sub>0,05</sub> con 5 grados de libertad y para que la hipótesis alternativa se cumpla la F experimental debe ser mayor a la F de tabla<sub>0,05</sub> con 5 grados de libertad.

Por lo tanto, no se cuenta con suficiente evidencia para decir que los tres almidones son iguales a un nivel de significancia de 0.05 y 5 grados de libertad, ya que la F experimental es mayor a la F de tabla<sub>0.05</sub> (339.400>9.552).



De esta forma, se toma en cuenta la hipótesis alternativa y se lleva a cabo el método de comparación múltiple T de Tukey, para conocer el grado de diferencia entre los promedios de los almidones analizados, donde se declararía significativamente diferente un par específico si la diferencia absoluta entre las medias muestrales de cada almidón es igual o excede el rango crítico (RC=53.84).

Cálculo de rango crítico (RC):

$$RC = Q_{0.05, 3, 3} \sqrt{\frac{166}{2}}$$

$$RC = 5.91 \sqrt{\frac{166}{2}} = 53.84$$

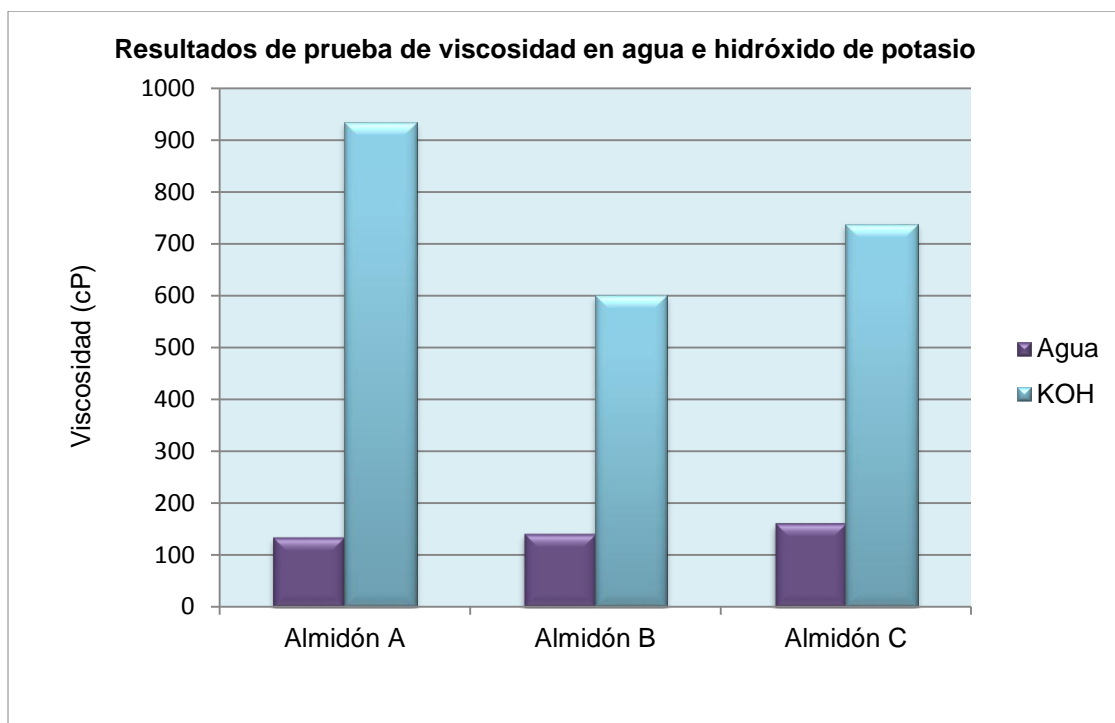
**Tabla N° 8:** Resultados de las diferencias absolutas empleando el método de comparaciones múltiples T de Tukey, en la prueba de viscosidad en hidróxido de potasio a un nivel de significancia de 0.05\*

Diferencias absolutas entre las medias muestrales	Almidón comercial Starch 1500® (C)	Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> pregelatinizado (B)	Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> no modificado (A)
Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> no modificado (A)	196*	334*	0
Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> pregelatinizado (B)	138*	0	-
Almidón comercial Starch 1500® (C)	0	-	-

Los resultados obtenidos indican que ninguno de los dos almidones tanto el no modificado y pregelatinizado de la raíz de *Sechium edule* son comparables con el Starch 1500®, ya que las diferencias absolutas entre las medias muestrales son superiores a las del rango crítico, por tanto se considera que los tres almidones son significativamente diferentes.

#### 5.2.1.4 Representación gráfica de la prueba de viscosidad en medio acuoso e hidróxido de potasio realizada a los tres tipos de almidones en estudio.

El siguiente gráfico muestra los resultados obtenidos de la prueba de viscosidad reportados en centipois (cP):



**Figura Nº 3:** Gráfico de los resultados obtenidos de la prueba de viscosidad

Fisicoquímicamente se observa a través del gráfico que en medio acuoso el almidón A y B presentan un comportamiento similar y levemente inferior al del almidón C. Mientras que en hidróxido de potasio la viscosidad se ve incrementada significativamente en los tres almidones estudiados.

### 5.2.1.5 Discusión de resultados de viscosidad

La prueba de viscosidad es una de las determinaciones más importantes que se toma en cuenta cuando se analiza un tipo de almidón, ya que la viscosidad propia de cada almidón determina su comportamiento que presenta ante los diferentes usos a los cuales estos pueden ser empleados. Por lo tanto, realizando dicho análisis del almidón de raíz de ***Sechium edule*** (no modificado y pregelatinizado) se pudo observar el comportamiento que estos tuvieron frente a los diferentes medios en que fue disuelto a una concentración del 2% para la toma de viscosidad (Agua, KCl y KOH), a una temperatura promedio de 32 °C, de igual forma para el almidón comercial Starch 1500®.

Fisicoquímicamente se observa que en medio acuoso el almidón pregelatinizado de la raíz de ***Sechium edule*** presentó un leve aumento con respecto al no modificado, pero no lo suficiente para ser comparado al estándar de trabajo; mientras que en medio alcalino se presentó un importante aumento de viscosidad en los almidones estudiados, no obstante la diferencia fue significativa entre ellos; los resultados de esta prueba pueden deberse a la naturaleza del almidón, la modificación y el medio que se utilizó.

Según los resultados en la prueba de viscosidad en medio acuoso, para los almidones de raíz de ***Sechium edule*** sin modificar; pregelatinizado y almidón comercial Starch 1500®, se confirma mediante el análisis estadístico ANOVA, que sí existe diferencia significativa entre ellos a un nivel de significancia de

0.05 y 5 grados de libertad. Por lo tanto utilizando la prueba de T de Tukey se establece que la diferencia es significativa entre algunos almidones, puesto que los valores obtenidos de las diferencias absolutas son superiores al valor de rango crítico; tal es el caso de la relación entre el almidón A con el C ( $27 > 9.64$ ) y el almidón B con C ( $20 > 9.64$ ), mientras que la relación entre el almidón A y B tienen una diferencia absoluta menor que el valor del rango crítico ( $7 < 9.64$ ) indicando que no existe diferencia significativa entre ellos.

Al interpretar los resultados estadísticos de esta prueba en KOH para los tres almidones, se confirma mediante el análisis estadístico ANOVA, que sí existe diferencia significativa entre ellos a un nivel de significancia de 0.05 y 5 grados de libertad. Por lo tanto utilizando la prueba T de Tukey se establece que la diferencia es significativa entre todos los almidones, puesto que los valores obtenidos de las diferencias absolutas son superiores al valor de rango crítico ( $334 > 53.84$ ;  $934 > 53.84$ ;  $138 > 53.84$ ).

Por lo tanto, se puede decir que estadísticamente los almidones de raíz de ***Sechium edule*** no modificado y pregelatinizado no son comparables con el estándar de referencia (Starch 1500®).

Al llevar a cabo la toma de viscosidad en cloruro de potasio se observó un descenso en la viscosidad ya que este medio tiende a formar flóculos con el almidón por lo que no se consideró en el análisis de resultados.

## 5.2.2 Índice de Hinchamiento (IH)

### 5.2.2.1 Resultados de Índice de Hinchamiento

Esta prueba sirve como parámetro para conocer el grado de ordenamiento presente en el interior del gránulo, ya que dependiendo de la naturaleza de cada almidón, manifestará una superficie interna mayor o menor y esto se hace evidente mediante esta prueba. En las siguientes tablas se detallan los resultados obtenidos de los diferentes almidones producto del análisis para determinar el índice de hinchamiento tomándose las lecturas a un volumen constante después de 30 minutos.

Ejemplo de cálculo:

Fórmula

$$\text{Índice de hinchamiento} = \frac{\text{Volumen de agua absorbida}}{\text{Volumen de la sustancia que absorbe}} \times 100$$

**Para almidón A, repetición 1**

$$\text{Índice de hinchamiento} = \frac{2.1 \text{ mL}}{1.6 \text{ mL}} \times 100$$

$$\text{Índice de hinchamiento} = 131.25 \approx 131.3\%$$

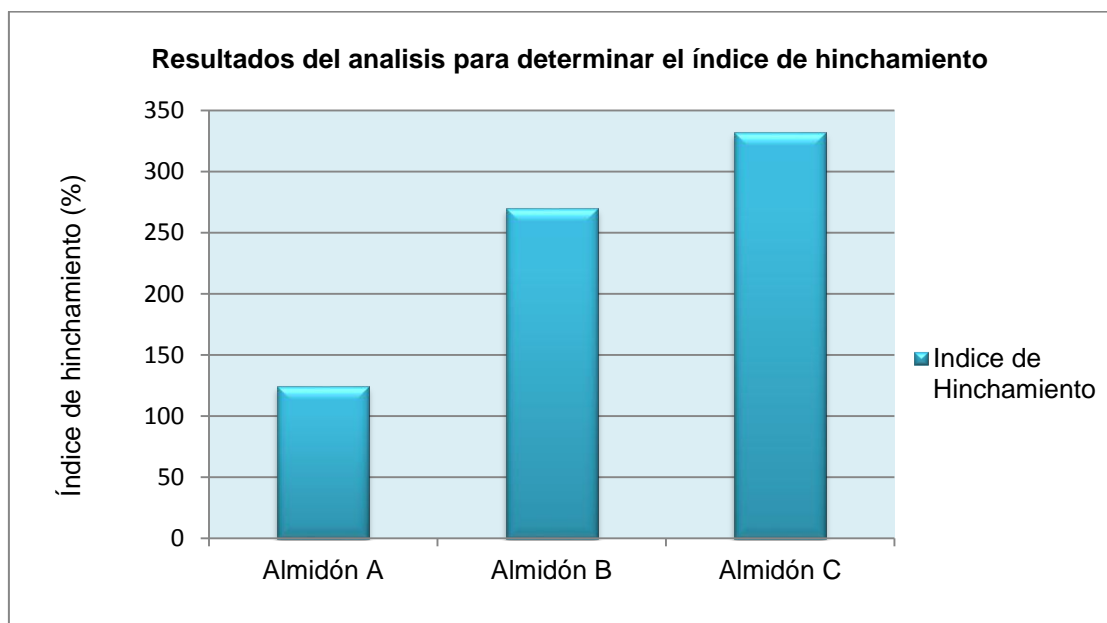
**Tabla N° 9:** Resultados del análisis fisicoquímico de índice de hinchamiento realizada a los tres tipos de almidones.

Tipo de almidón	Nº de repetición	Volumen de almidón (mL)	Volumen de agua Absorbida (mL)	Índice de Hinchamiento (%)
Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> no modificado (A)	1	1.6	2.1	131.3
	2	1.6	1.9	118.8
	3	1.7	2.1	123.5
Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> pregelatinizado (B)	1	1.5	3.9	260.0
	2	1.4	3.9	278.6
	3	1.4	3.8	271.4
Almidón comercial Starch 1500®(C)	1	1.3	4.0	307.7
	2	1.3	4.4	338.5
	3	1.2	4.2	350.0

**Tabla N° 10:** Resultados de la media y desviación estándar de los tres tipos de almidones estudiados en la prueba de índice de hinchamiento.

Muestra de almidón	Número de mediciones	Promedio IH (%)	Desviación Estándar (s)
(A)	3	124.5	6.3137
(B)	3	270.0	9.3787
(C)	3	332.1	21.8715

El presente gráfico muestra los resultados de los promedios de índice de hinchamiento de los tres almidones en estudio:



**Figura Nº 4:** Gráfico de los resultados obtenidos de la prueba de Índice de hinchamiento

Fisicoquímicamente se observa a través del gráfico que el almidón B presentó un incremento significativo comparado con el almidón A, respecto al Índice de hinchamiento, permitiendo que el resultado de éste se aproxime más al resultado del almidón C. Donde el aumento de hinchamiento del almidón B pudo deberse a que recibió el mismo tratamiento que el estándar de trabajo (almidón C).

**Tabla N° 11:** Resultados de análisis estadístico ANOVA para prueba de índice de hinchamiento

Fuente	Grados de libertad(GI)	Suma de cuadrados(SS)	Media cuadrada(varianza)	F experimental	F tabla
Entre grupos	2	68,087.06	34,043.53	168.480	5.143
Dentro del grupo	6	1,212.37	202.06	-	-
Total	8	69,299.43	-	-	-

### 5.2.2.2 Interpretación de análisis estadístico de índice de hinchamiento

Para el análisis estadístico del índice de hinchamiento se han planteado las siguientes hipótesis:

- Hipótesis nula ( $H_0$ )

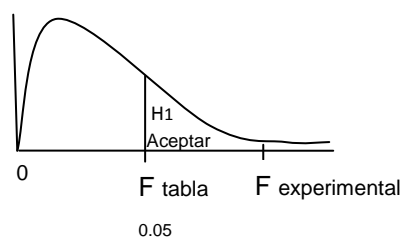
No existe diferencia significativa respecto al índice de hinchamiento para el almidón de raíz de *Sechium edule* no modificado, pregelatinizado y almidón comercial Starch 1500®.

- Hipótesis alternativa ( $H_1$ )

Existe diferencia significativa respecto al índice de hinchamiento para el almidón de raíz de *Sechium edule* no modificado, pregelatinizado y almidón comercial Starch 1500®.

Para que la hipótesis nula se cumpla la F experimental debe ser menor o igual a la F de tabla<sub>0,05</sub> con 8 grados de libertad y para que la hipótesis alternativa se cumpla la F experimental debe ser mayor a la F de tabla<sub>0,05</sub> con 8 grados de libertad.

Por lo tanto, no se cuenta con suficiente evidencia para decir que los tres almidones son iguales a un nivel de significancia de 0.05 y 8 grados de libertad, ya que la F experimental es mayor a la F de tabla (168.480 > 5.143). (Ver anexo N° 9)



De esta forma, se toma en cuenta la hipótesis alternativa y se lleva a cabo el método de comparación múltiple T de Tukey, para conocer el grado de diferencia entre los promedios de almidón analizado, donde se declararía significativamente diferente un par específico si la diferencia absoluta entre las medias muestrales de cada almidón es igual o excede el rango crítico (RC=35.62).

Cálculo de rango crítico (RC): (ver anexo N° 10)

$$RC = Q_{0.05, 3, 6} \sqrt{\frac{202.06}{3}}$$

$$RC = 4.34 \sqrt{\frac{202.06}{3}} = 35.62$$

**Tabla N° 12:** Resultados de las diferencias absolutas empleando el método de comparaciones múltiples: T de Tukey, en la prueba de índice de hinchamiento a un nivel de significancia de 0.05\*

Diferencias absolutas entre las medias muestrales	Almidón comercial Starch 1500® (C)	Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> pregelatinizado (B)	Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> no modificado (A)
Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> no modificado (A)	207.54*	145.47*	0
Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> pregelatinizado (B)	62.07*	0	-
Almidón comercial Starch 1500® (C)	0	-	-

Los resultados obtenidos indican que ninguno de los dos almidones obtenidos de la raíz de *Sechium edule* (A y B) son comparables con el estándar de trabajo Starch 1500®, ya que las diferencias absolutas entre las medias muestrales son superiores a las del rango crítico, por tanto se considera que los tres almidones son significativamente diferentes.

### 3.2.2.3 Discusión de resultados de índice de hinchamiento

Según los resultados en la prueba de índice de hinchamiento, para los almidones de raíz de *Sechium edule* sin modificar, pregelatinizado y almidón comercial Starch 1500®, se confirma mediante el análisis estadístico ANOVA, que sí existe diferencia significativa entre ellos a un nivel de significancia de 0.05 y 8 grados de libertad. Por lo tanto utilizando la prueba de T de Tukey se establece que la diferencia es significativa entre todos los almidones, puesto

que los valores obtenidos de las diferencias absolutas son superiores al valor de rango crítico ( $145.47 > 35.62$ ;  $207.54 > 35.62$ ;  $62.07 > 35.62$ ).

Aunque estadísticamente a un nivel de significancia de 0.05, los almidones presentan diferencia significativa, es importante notar que los almidones modificados (Almidón B y C) manifiestan un comportamiento bastante similar en la prueba de índice de hinchamiento al observar el gráfico, lo cual se puede interpretar diciendo que la modificación que se llevó a cabo en el almidón de raíz de *Sechium edule* fue de beneficio, aumentando el índice de hinchamiento y por lo tanto haciéndolo comparable con el patrón de referencia (Starch 1500®).

### **5.2.3 Determinación del Punto de Gelatinización**

#### **5.2.3.1 Resultados del Punto de Gelatinización**

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría, debido a que su estructura está altamente organizada y a que presenta una gran estabilidad por las múltiples interacciones que existen con sus dos polisacáridos constituyentes; sin embargo cuando se calientan empieza un proceso lento de absorción de agua en las zonas menos organizadas y las más accesibles. La temperatura de gelatinización es aquella donde se alcanza el máximo de viscosidad.

Los siguientes datos demuestran el promedio de temperatura de gelatinización de cada almidón:

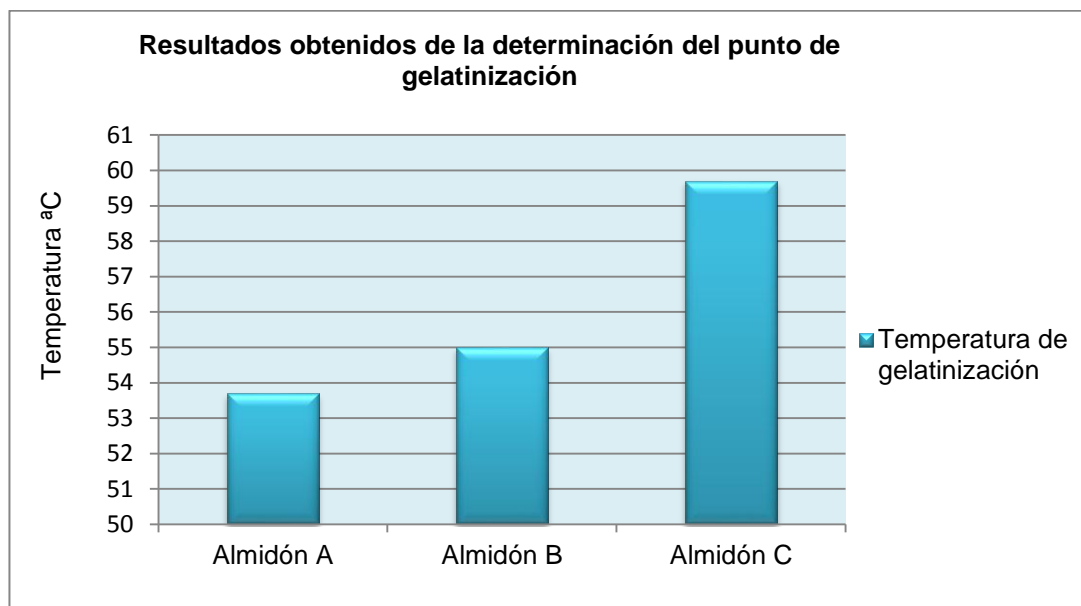
**Tabla N° 13:** Resultados de la determinación del punto de gelatinización

Tipo de almidón	N° de repetición	Temperaturas de gelatinización (°C)	Promedio temperatura de gelatinización (°C)
Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> no modificado (A)	1	53	53.7
	2	55	
	3	53	
Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> pregelatinizado (B)	1	54	55.0
	2	56	
	3	55	
Almidón comercial Starch 1500® (C)	1	59	59.7
	2	61	
	3	59	

**Tabla N° 14:** Resultados de la media y desviación estándar de los tres tipos de almidones estudiados en la prueba de punto de gelatinización

Muestra de almidón	Número de mediciones	Promedio temperatura de gelatinización (°C)	Desviación Estándar (s)
(A)	3	53.7	1.1554
(B)	3	55.0	1.0000
(C)	3	59.7	1.1554

El presente gráfico muestra el promedio de las temperaturas de gelatinización de cada tipo de almidón:



**Figura Nº 5:** Gráfico de resultados obtenidos de la prueba de punto de gelatinización

Se observa gráficamente que tanto el almidón A como el B aislados de la misma fuente, presentan una temperatura de gelatinización comparable, no así el almidón C el cual se vio aumentado significativamente.

**Tabla Nº 15:** Resultados de análisis estadístico ANOVA para prueba punto de gelatinización

Fuente	Grados de libertad(GI)	Suma de cuadrados(SS)	Media cuadrada(varianza)	F experimental	F tabla
Entre grupos	2	59.78	29.89	24.44	5.143
Dentro del grupo	6	7.34	1.22	-	-
Total	8	67.12	-	-	-

### 5.2.3.2 Interpretación de Análisis estadístico de punto de gelatinización

Para el análisis estadístico del punto de gelatinización se han planteado las siguientes hipótesis:

- Hipótesis nula ( $H_0$ )

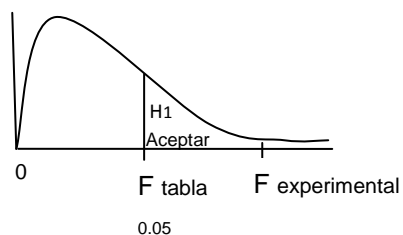
No existe diferencia significativa respecto al punto de gelatinización para el almidón de raíz de ***Sechium edule*** no modificado, pregelatinizado y almidón comercial Starch 1500®.

- Hipótesis alternativa ( $H_1$ )

Existe diferencia significativa respecto al punto de gelatinización para el almidón de raíz de ***Sechium edule*** no modificado, pregelatinizado y almidón comercial Starch 1500®.

Para que la hipótesis nula se cumpla la F experimental debe ser menor o igual a la F de tabla<sub>0.05</sub> con 8 grados de libertad y para que la hipótesis alternativa se cumpla la F experimental debe ser mayor a la F de tabla<sub>0.05</sub> con 8 grados de libertad.

Por lo tanto, no se cuenta con suficiente evidencia para decir que los tres almidones son iguales a un nivel de significancia de 0.05 y 8 grados de libertad, ya que la F experimental es mayor a la F de tabla<sub>0.05</sub> ( $24.44 > 5.143$ ).



De esta forma, se toma en cuenta la hipótesis alternativa y se lleva a cabo el método de comparación múltiple T de Tukey, para conocer el grado de diferencia entre los promedios de almidón analizado, donde se declararía significativamente diferente un par específico si la diferencia absoluta entre las medias muestrales de cada almidón es igual o excede el rango crítico (RC=2.77).

Cálculo de rango crítico:

$$RC = Q_{0.05, 3, 6} \sqrt{\frac{1.2233}{3}}$$

$$RC = 4.34 \sqrt{\frac{1.2233}{3}} = 2.77$$

**Tabla N° 16:** Resultados de las diferencias absolutas empleando el método de comparaciones múltiples T de Tukey, en la prueba de punto de gelatinización a un nivel de significancia de 0.05\*.

Diferencias absolutas entre las medias muestrales	Almidón comercial Starch 1500® (C)	Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> pregelatinizado (B)	Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> no modificado (A)
Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> no modificado (A)	6.0*	1.3	0
Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> pregelatinizado (B)	4.7*	0	-
Almidón comercial Starch 1500® (C)	0	-	-

Los resultados de las diferencias absolutas indican que tanto el almidón no modificado como el pregelatinizado de la raíz de *Sechium edule* presentan una diferencia significativa con el Starch 1500®, ya que el valor de las medias

muestrales es superior al del rango crítico, no así, el dato que se obtuvo entre el almidón A y B el cual es inferior al del rango crítico, por tanto la diferencia es mínima.

### 5.2.3.3 Discusión de resultados del Punto de gelatinización

Según los resultados en la prueba de punto de gelatinización, para los almidones de raíz de *Sechium edule* sin modificar; pregelatinizado y almidón comercial Starch 1500®, se confirma mediante el análisis estadístico ANOVA, que sí existe diferencia significativa entre ellos a un nivel de significancia de 0.05 y 8 grados de libertad. Por lo tanto utilizando la prueba de T de Tukey se establece que la diferencia es significativa entre algunos almidones, puesto que los valores obtenidos de las diferencias absolutas son superiores al valor de rango crítico; tal es el caso de la relación entre el almidón A con el C ( $6 > 2.77$ ) y el almidón B con C ( $4.7 > 2.77$ ), mientras que la relación entre el almidón A y B tienen una diferencia absoluta menor que el valor del rango crítico ( $1.3 < 2.77$ ) lo cual se puede interpretar que no existe diferencia significativa entre ellos. Por lo tanto se dice que los almidones de raíz de *Sechium edule* (no modificado y pregelatinizado) se consideran significativamente diferentes con el estándar de trabajo (Starch 1500®)

Además es importante destacar los resultados obtenidos con relación a otros almidones extraídos de diferentes fuentes, por ejemplo bibliográficamente se reporta que el almidón de maíz tiene una temperatura promedio de

gelatinización de 57°C, el almidón de papa de 54.5°C y el de Yuca de 58°C, (3) por lo tanto se considera que los almidones estudiados presentan un punto de gelatinización que se encuentra dentro de los valores comunes de los almidones. De igual forma se puede decir que el punto de gelatinización se relaciona con el índice de hinchamiento propio de cada almidón, el cual hace que a mayor sea dicho índice permite un punto de gelatinización más alto.

## **5.2.4 Determinación de la Capacidad de Retención de Agua**

### **5.2.4.1 Resultados de Capacidad de Retención de Agua**

Cuando un almidón es sometido a un cambio físico, se desarrolla mejor la capacidad de retención de agua, ya que se produce una reorganización de la estructura del gránulo aumentando su tamaño y se favorece la captación del agua del medio.

Esta prueba nos permitió identificar la capacidad que tienen los gránulos de almidón para absorber agua en su interior y por lo tanto hincharse, el cual es característico para cada tipo de almidón.

Las siguientes tablas y el gráfico muestran los datos obtenidos de la prueba de capacidad de retención de agua del análisis fisicoquímico y estadístico.

Ejemplo de cálculo:

Fórmula

$$\text{Capacidad de retención de agua} = \frac{\text{Gramos retenidos de agua}}{\text{Peso de la sustancia que imbebe el agua}} \times 100$$

### Almidón A, repetición 1

Se pesaron 0.500 g de muestra

$$\text{Capacidad de retención de agua} = \frac{0.454\text{g}}{0.500\text{g}} \times 100 = 90.8\%$$

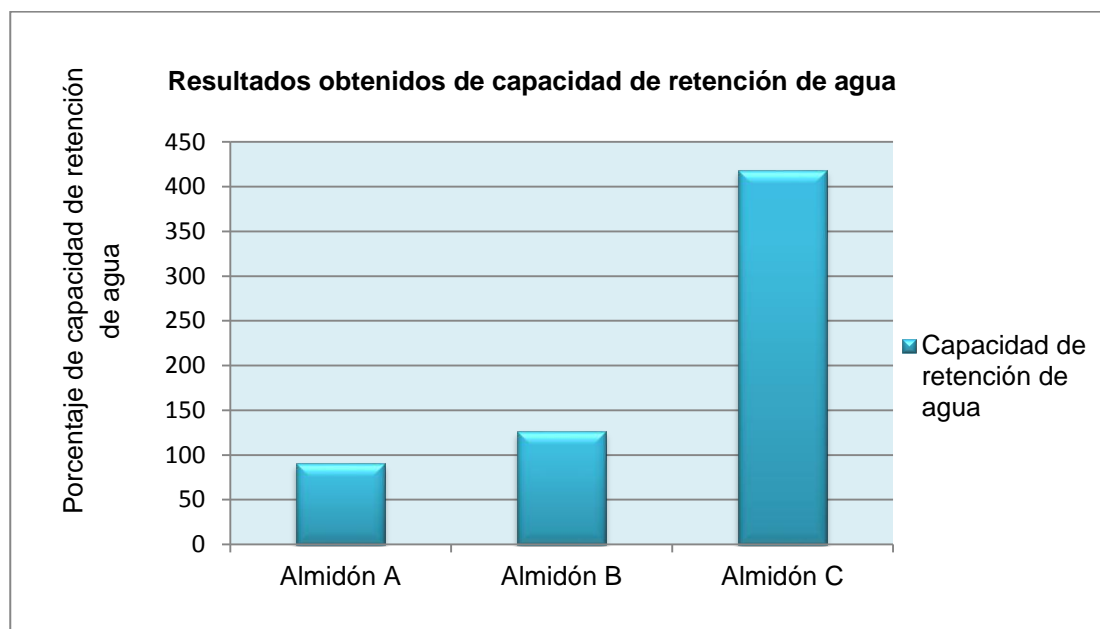
**Tabla N° 17:** Resultados del análisis fisicoquímico de capacidad de retención de agua realizada a los tres tipos de almidones.

Tipo de almidón	Numero de prueba	Gramos retenidos de agua	Capacidad de retención de agua (%)	Promedio de capacidad de retención de agua (%)
Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> no modificado (A)	1	0.454 g	90.8	90.5
	2	0.402 g	80.2	
	3	0.503 g	100.6	
Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> pregelatinizado (B)	1	0.663 g	132.3	126.3
	2	0.651 g	129.9	
	3	0.583 g	116.8	
Almidón comercial Starch 1500® (C)	1	2.341 g	468.2	418.5
	2	1.822 g	363.7	
	3	2.115 g	423.8	

**Tabla N° 18:** Resultados de la media y desviación estándar de los tres tipos de almidones estudiados en la prueba de Capacidad de retención de agua.

Muestra de almidón	Número de mediciones	Promedio Capacidad de retención de agua (%)	Desviación Estándar (s)
(A)	3	90.5	0.0505
(B)	3	126.3	0.0431
(C)	3	418.5	0.2602

El presente gráfico muestra los promedios de la prueba de capacidad de retención de agua para cada almidón en estudio:



**Figura N° 6:** Gráfico de los resultados obtenidos de la prueba de capacidad de retención de agua

Gráficamente se observa en la prueba de Capacidad de retención de agua que el almidón B presentó un resultado levemente superior con respecto al almidón A; sin embargo es importante destacar que el tratamiento de pregelatinización que recibió éste almidón fue un factor que influyo en dicho aumento, aunque no lo suficiente para ser comparado con el estándar de trabajo (almidón C).

**Tabla N° 19:** Resultados de análisis estadístico ANOVA para prueba de Capacidad de retención de agua.

Fuente	Grados de libertad(GI)	Suma de cuadrados(SS)	Media cuadrada(varianza)	F experimental	F tabla
Entre grupos	2	4.8495	2.4247	101.030	5.143
Dentro del grupo	6	0.1442	0.0240	-	-
Total	8	4.9937	-	-	-

#### 5.2.4.2 Interpretación de análisis estadístico de Capacidad de retención de agua

Para el análisis estadístico de la capacidad de retención de agua se han planteado las siguientes hipótesis:

- Hipótesis nula ( $H_0$ )

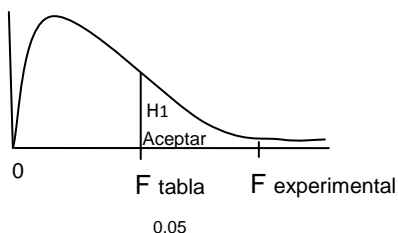
No existe diferencia significativa respecto a la capacidad de retención de agua para el almidón de raíz de ***Sechium edule*** no modificado, pregelatinizado y almidón comercial Starch 1500®.

- Hipótesis alternativa ( $H_1$ )

Existe diferencia significativa respecto a la capacidad de retención de agua para el almidón de raíz de ***Sechium edule*** no modificado, pregelatinizado y almidón comercial Starch 1500®.

Para que la hipótesis nula se cumpla la F experimental debe ser menor o igual a la F de tabla<sub>0,05</sub> con 8 grados de libertad y para que la hipótesis alternativa se cumpla la F experimental debe ser mayor a la F de tabla<sub>0,05</sub> con 8 grados de libertad.

Por lo tanto, no se cuenta con suficiente evidencia para decir que los tres almidones son iguales a un nivel de significancia de 0.05 y 8 grados de libertad, ya que la F experimental es mayor a la F de tabla<sub>0.05</sub> (101.030>5.143).



De esta forma, se toma en cuenta la hipótesis alternativa y se lleva a cabo el método de comparación múltiple T de Tukey, para conocer el grado de diferencia entre los promedios de cada almidón analizado, donde se declararía significativamente diferente un par específico si la diferencia absoluta entre las medias muestrales de cada almidón es igual o excede el rango crítico (RC=0.3824).

Cálculo de rango crítico (RC):

$$RC = Q_{0.05, 3, 6} \sqrt{\frac{0.0233}{3}}$$

$$RC = 4.34 \sqrt{\frac{0.0233}{3}} = 0.3824$$

**Tabla N° 20:** Resultados de las diferencias absolutas empleando el método de comparaciones múltiples T de Tukey, en la prueba de capacidad de retención de agua a un nivel de significancia de 0.05\*.

Diferencias absolutas entre las medias muestrales	Almidón comercial Starch 1500® (C)	Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> pregelatinizado (B)	Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> no modificado (A)
Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> no modificado (A)	1.639*	0.179	0
Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> pregelatinizado (B)	1.460*	0	-
Almidón comercial Starch 1500® (C)	0	-	-

Los resultados de las diferencias absolutas indican que tanto el almidón no modificado como el pregelatinizado de la raíz de *Sechium edule* presentan una diferencia significativa con el Starch 1500®, ya que el valor de las medias muestrales es superior al del rango crítico, no así, el dato que se obtuvo entre el almidón A y B el cual es inferior al del rango crítico, por tanto la diferencia es mínima.

#### 5.2.4.3 Discusión de resultados de capacidad de retención de agua

Según los resultados en la prueba de capacidad de retención de agua, para los almidones de raíz de *Sechium edule* sin modificar; pregelatinizado y almidón comercial Starch 1500®, se confirma mediante el análisis estadístico ANOVA, que sí existe diferencia significativa entre ellos a un nivel de significancia de 0.05 y 8 grados de libertad. Por lo tanto utilizando la prueba de T de Tukey se establece que la diferencia es significativa entre algunos almidones, puesto que

los valores obtenidos de las diferencias absolutas son superiores al valor de rango crítico; tal es el caso de la relación entre el almidón A con el C ( $1.639 > 0.3824$ ) y el almidón B con C ( $1.460 > 0.3824$ ), mientras que la relación entre el almidón A y B tienen una diferencia absoluta menor que el valor del rango crítico ( $0.179 < 0.3824$ ) indicando que no existe diferencia significativa entre ellos.

Sin embargo, lo que se esperaba en esta prueba era que el almidón pregelatinizado de raíz de *Sechium edule* aumentara su capacidad de retención de agua por presentar una modificación similar al estándar, el cual sucedió pero fue relativamente bajo, impidiendo alcanzar un valor cercano al estándar de trabajo y por lo tanto se puede decir que éste almidón como el no modificado son significativamente diferentes al Starch 1500® por su baja retención de agua con respecto a dicha prueba.

### **5.3 Pruebas complementarias de caracterización de almidones**

#### **5.3.1 Sustancias Solubles**

##### **5.3.1.1 Resultados de Sustancias Solubles**

Todos los almidones pueden contener diferentes sustancias que en medio acuoso pueden solubilizarse. La cantidad de sustancias solubles depende del deterioro que tengan los gránulos de almidón y del tratamiento que estos hayan recibido. Por lo tanto esta prueba se llevó a cabo para los tres tipos de

almidones con el fin de conocer la cantidad de sustancias solubles que posee cada uno.

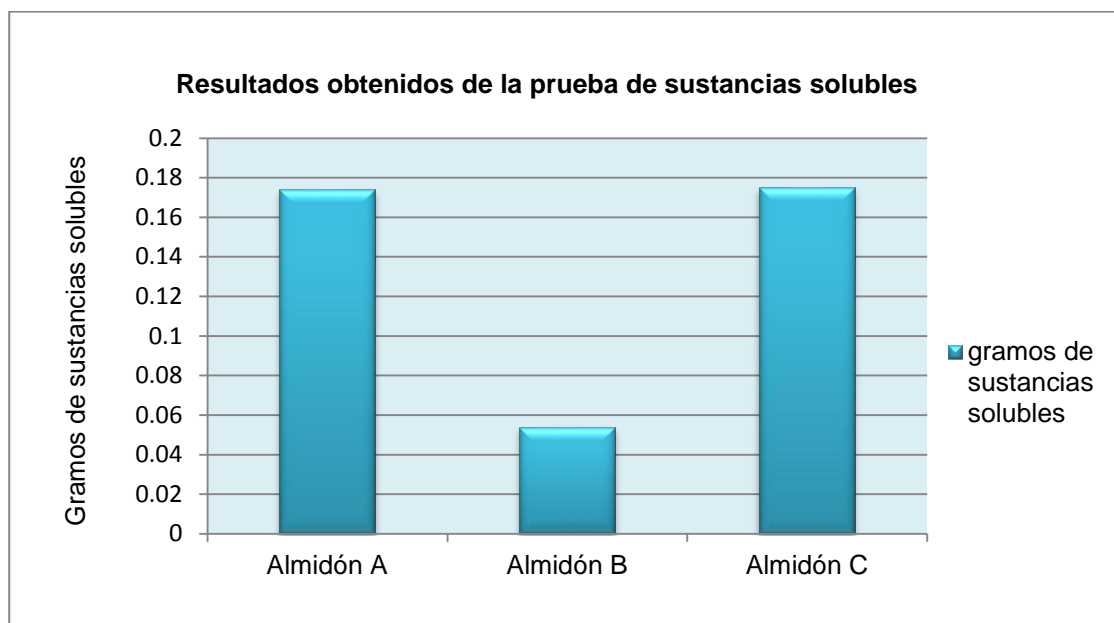
**Tabla N° 21:** Resultados del análisis fisicoquímico de sustancias solubles realizada a los tres tipos de almidones.

Tipo de almidón	Numero de prueba	Gramos de residuo de sustancias solubles	Promedio de sustancias solubles(g)
Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> no modificado (A)	1	0.301 g	0.174
	2	0.099 g	
	3	0.123 g	
Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> pregelatinizado (B)	1	0.034 g	0.054
	2	0.020 g	
	3	0.109 g	
Almidón comercial Starch 1500® (C)	1	0.304 g	0.175
	2	0.103 g	
	3	0.118 g	

**Tabla N° 22:** Resultados de la media y desviación estándar de los tres tipos de almidones estudiados en la prueba de sustancias solubles.

Muestra de almidón	Número de mediciones	Promedio sustancias solubles (g)	Desviación Estándar (s)
(A)	3	0.174	0.1103
(B)	3	0.054	0.0022
(C)	3	0.175	0.1119

El presente gráfico muestra el promedio de sustancias solubles de los tres almidones:



**Figura Nº 7:** Gráfico de los resultados obtenidos de la prueba de sustancias solubles

Mediante el gráfico se observa que los almidones que presentaron un comportamiento similar en relación con el contenido de sustancias solubles fueron el A y el C, mientras que el almidón B reportó un resultado muy inferior a estos.

**Tabla N° 23:** Resultados de análisis estadístico ANOVA para prueba de sustancias solubles.

Fuente	Grados de libertad(GI)	Suma de cuadrados(SS)	Media cuadrada(varianza)	F experimental	F tabla
Entre grupos	2	0.029	0.0145	1.629	5.143
Dentro del grupo	6	0.0537	0.0089	-	-
Total	8	0.0827	-	-	-

### 5.3.1.2 Interpretación de análisis estadístico de sustancias solubles

Para el análisis estadístico de sustancias solubles se han planteado las siguientes hipótesis:

- Hipótesis nula ( $H_0$ )

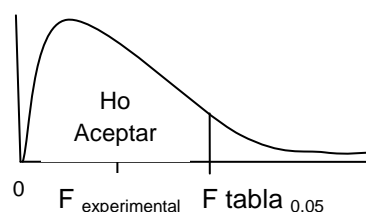
No existe diferencia significativa con respecto a las sustancias solubles para el almidón de raíz de ***Sechium edule*** no modificado, pregelatinizado y almidón comercial Starch 1500®.

- Hipótesis alternativa ( $H_1$ )

Existe diferencia significativa con respecto a las sustancias solubles para el almidón de raíz de ***Sechium edule*** no modificado, pregelatinizado y almidón comercial Starch 1500®.

Para que la hipótesis nula se cumpla la F experimental debe ser menor o igual a la F de tabla<sub>0,05</sub> con 8 grados de libertad y para que la hipótesis alternativa se cumpla la F experimental debe ser mayor a la F de tabla<sub>0,05</sub> con 8 grados de libertad.

Por lo tanto, la hipótesis nula se acepta debido a que estadísticamente no existe diferencia significativa entre los almidones con respecto a la prueba de sustancias solubles ya que la  $F$  experimental es menor a la  $F$  de tabla<sub>0.05</sub> ( $1.629 < 5.143$ ) a un nivel de significancia de 0.05 y 8 grados de libertad.



### 5.3.1.3 Discusión de resultados de sustancias solubles

Estadísticamente se puede interpretar que los tres almidones no presentan una diferencia significativa a un nivel de confianza de 0.05 y 8 grados de libertad.

Desde el punto de vista fisicoquímico podemos ver en el gráfico que el almidón sin modificar (de raíz de *Sechium edule*) y almidón comercial Starch 1500® presentaron mayor cantidad de sustancias solubles con resultados muy similares pudiendo deberse a que los polímeros combinados dentro del grano son solubles en el medio acuoso y debido a que los granos se encuentran deteriorados.

Se considera que la diferencia en el resultado que se produjo en el almidón pregelatinizado de raíz de *Sechium edule* comparado con el almidón A y C pudo verse influenciado por el método empleado al efectuar dicha modificación, por otro lado, aunque el almidón A sí presentó mayor cantidad de sustancias solubles por exhibir un aumento en el contenido de gránulos deteriorados,

éstos debieron ser eliminados en el almidón pregelatinizado (almidón B) al ser arrastrados por los lavados con agua y metanol que se requerían en el proceso de pregelatinización, viéndose disminuida la cantidad de sustancias solubles presentes en dicho almidón.

Por lo tanto se puede interpretar que el almidón de raíz de *Sechium edule* no modificado no es significativamente diferente con el estándar de trabajo (Starch 1500®) con respecto a esta prueba.

### 5.3.2 Acidez Titulable

#### 5.3.2.1 Resultados de Acidez Titulable

Esta prueba usualmente es empleada para conocer la concentración total de ácidos presentes en los almidones.

Los siguientes resultados muestran los porcentajes de acidez para cada almidón en estudio.

Ejemplo de cálculo

Fórmula

$$\% \text{ acidez} = \frac{V_{\text{NaOH} 0.1\text{N}} \times N_{\text{NaOH}} \times \text{FC}}{P_{\text{mx}}} \times 100$$

Donde:

% acidez: porcentaje de acidez total titulable

$V_{\text{NaOH} 0.1\text{N}}$ : mL de solución de hidróxido de sodio 0.1N gastado en la titulación

N: Normalidad de la solución de hidróxido de sodio

FC: Factor de corrección del hidróxido de sodio

Pmx: Peso en gramos de muestra

### Para almidón A

Valoración 1

$$\% \text{ acidez} = \frac{(0.4\text{mL}) (0.1\text{N}) (0.996)}{5.0\text{g}} \times 100 = 0.7968\% \approx 0.8\%$$

Valoración 2

$$\% \text{ acidez} = \frac{(0.3\text{mL}) (0.1\text{N}) (0.996)}{5.0\text{g}} \times 100 = 0.5976\% \approx 0.6\%$$

Valoración 3

$$\% \text{ acidez} = \frac{(0.5\text{mL}) (0.1\text{N}) (0.996)}{5.0\text{g}} \times 100 = 0.996\% \approx 1.0\%$$

Promedio de acidez titulable ( $\bar{x}$ ) =  $(0.8 + 0.6 + 1.0) \% / (3) = 0.8 \%$

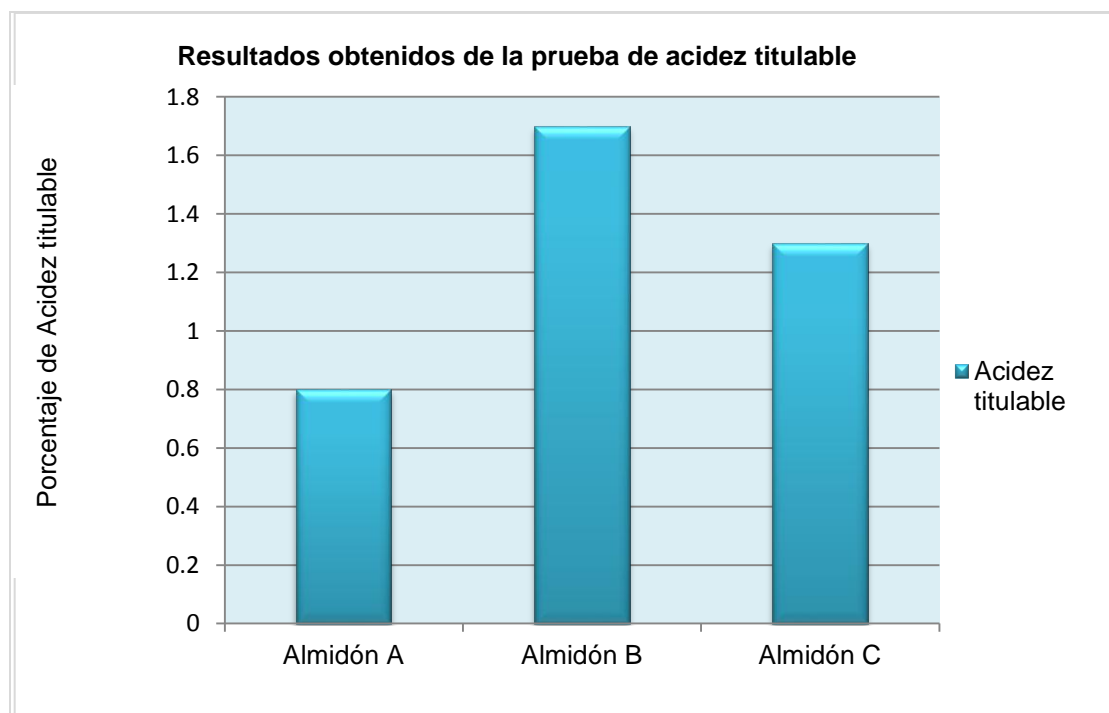
**Tabla N° 24:** Resultados del análisis fisicoquímico de acidez titulable realizada a los tres tipos de almidones

Tipo de almidón	Volumen de solución de NaOH 0.1 N gastado(mL)	Porcentaje de Acidez Titulable (%)	Promedio de Porcentaje de Acidez Titulable (%)
Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> no modificado (A)	0.4	0.8	0.8
	0.3	0.6	
	0.5	1.0	
Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> pregelatinizado (B)	0.5	2.0	1.7
	0.5	2.0	
	0.3	1.2	
Almidón comercial Starch 1500® (C)	0.7	1.4	1.3
	0.6	1.2	
	0.7	1.4	

**Tabla N° 25:** Resultados de la media y desviación estándar de los tres tipos de almidones estudiados en la prueba de acidez titulable.

Muestra de almidón	Número de mediciones	Promedio acidez titulable (%)	Desviación Estándar(s)
(A)	3	0.8	0.20
(B)	3	1.7	0.4636
(C)	3	1.3	0.1224

El presente gráfico muestra los promedios de porcentaje de acidez de los tres almidones en estudio:



**Figura Nº 8:** Gráfico de los resultados obtenidos de la prueba de acidez titulable

Gráficamente se observa que tanto el almidón A como el almidón B de *Sechium edule*, pueden ser comparables al estándar de trabajo (almidón C) ya que presentaron resultados muy similares; además el almidón B presentó un resultado superior al almidón C; esto se ve relacionado al pH, ya que dicho almidón posee un menor pH y por tanto una mayor acidez, siendo el resultado de éste superior al estándar de trabajo con respecto a esta prueba.

**Tabla N° 26:** Resultados de análisis estadístico ANOVA para prueba de acidez titulable.

Fuente	Grados de libertad(Gl)	Suma de cuadrados(SS)	Media cuadrada(varianza)	F experimental	F tabla
Entre grupos	2	1.3044	0.6522	7.4029	5.143
Dentro del grupo	6	0.5288	0.0881	-	-
Total	8	1.8332	-	-	-

### 5.3.2.2 Interpretación de análisis estadístico de acidez titulable

Para el análisis estadístico de acidez titulable se han planteado las siguientes hipótesis:

- Hipótesis nula ( $H_0$ )

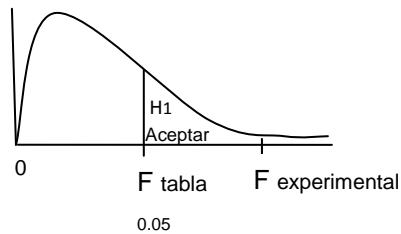
No existe diferencia significativa respecto al porcentaje de acidez para el almidón de raíz de ***Sechium edule*** no modificado, pregelatinizado y almidón comercial Starch 1500®.

- Hipótesis alternativa ( $H_1$ )

Existe diferencia significativa respecto al porcentaje de acidez para el almidón de raíz de ***Sechium edule*** no modificado, pregelatinizado y almidón comercial Starch 1500®.

Para que la hipótesis nula se cumpla la F experimental debe ser menor o igual a la F de tabla<sub>0,05</sub> con 8 grados de libertad y para que la hipótesis alternativa se cumpla la F experimental debe ser mayor a la F de tabla<sub>0,05</sub> con 8 grados de libertad.

Por lo tanto, no se cuenta con suficiente evidencia para decir que los tres almidones son iguales a un nivel de significancia de 0.05 y 8 grados de libertad, ya que la F experimental es mayor a la F de tabla<sub>0.05</sub> (7.4029>5.143).



De esta forma, se toma en cuenta la hipótesis alternativa y se lleva a cabo el método de comparación múltiple T de Tukey, para conocer el grado de diferencia entre los promedios de cada almidón analizado, donde se declararía significativamente diferente un par específico si la diferencia absoluta entre las medias muestrales de cada almidón es igual o excede el rango crítico (RC=0.7437).

Cálculo de rango crítico:

$$RC = Q_{0.05, 3, 6} \sqrt{\frac{0.0881}{3}}$$

$$RC = 4.34 \sqrt{\frac{0.0881}{3}} = 0.7437$$

**Tabla N° 27:** Resultados de las diferencias absolutas empleando el método de comparaciones múltiples T de Tukey, en la prueba de acidez titulable a un nivel de significancia de 0.05\*

Diferencias absolutas entre las medias muestrales	Almidón comercial Starch 1500® (C)	Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> pregelatinizado (B)	Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> no modificado (A)
Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> no modificado (A)	0.5312	0.9296*	0
Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> pregelatinizado (B)	0.3984	0	-
Almidón comercial Starch 1500® (C)	0	-	-

El método de comparación múltiple muestra que tanto el almidón A como el B no presentan diferencia significativa con el Starch 1500® (almidón C), sin embargo sí se produjo diferencia significativa entre ellos.

### 5.3.2.3 Discusión de resultados de acidez titulable

El porcentaje de acidez titulable calculado, nos determinó la concentración total de ácidos presentes en los almidones no modificado y pregelatinizado de raíz de *Sechium edule* y Starch 1500®, considerando que a pH más ácidos mayor será el porcentaje de acidez; presentando el mayor porcentaje de acidez el almidón de raíz de *Sechium edule* pregelatinizado (5)

Al observar el gráfico se puede decir que el almidón B tiene mayor acidez confirmando su relación con el pH ya que este presentó un pH en solución de 5, siendo más ácido que los otros almidones en estudio (pH almidón A= 6 ; pH almidón C= 6).

Según los resultados en la prueba de acidez titulable, para los almidones de raíz de *Sechium edule* sin modificar; pregelatinizado y almidón comercial Starch 1500®, se confirma mediante el análisis estadístico ANOVA, que sí existe diferencia significativa entre ellos a un nivel de significancia de 0.05 y 8 grados de libertad. Por lo tanto utilizando la prueba de T de Tukey se establece que la diferencia es significativa entre algunos almidones, puesto que los valores obtenidos de las diferencias absolutas son superiores al valor de rango crítico; tal es el caso de la relación entre el almidón A con el B ( $0.9296 > 0.7437$ ), mientras que la relación entre el almidón A y C tienen una diferencia absoluta menor que el valor del rango crítico ( $0.5312 < 0.7437$ ) indicando que no existe diferencia significativa entre ellos, al igual que la relación entre el almidón B y C ( $0.3984 < 0.7437$ ).

Por lo tanto el almidón de raíz de *Sechium edule* no modificado y pregelatinizado no son significativamente diferentes con el estándar de trabajo (Starch 1500®).

### **5.3.3 Pérdida por Secado**

#### **5.3.3.1 Resultados de Pérdida por Secado**

Todo almidón posee de forma natural un porcentaje de humedad debido a que se considera una sustancia ligeramente higroscópica absorbiendo agua del medio. En los resultados se muestran los porcentajes de humedad que perdió cada almidón en estudio al someterlo a una temperatura y tiempo establecido.

Ejemplo de cálculos:

Fórmulas

- 1) Peso de cápsula de porcelana vacía tarada(g)
- 2) Peso de cápsula de porcelana tarada(g) + Muestra antes de secar (g)
- 3) Peso de cápsula de porcelana tarada(g) + Muestra después de secar (g)
- 4) Peso de cápsula de porcelana tarada(g) + Muestra antes de secar(g) – Peso de cápsula de porcelana vacía tarada(g) = Peso (real) muestra antes de secar ( M inicial) (g)
- 5) Peso de cápsula de porcelana tarada(g) + Muestra después de secar(g) – Peso de cápsula de porcelana vacía tarada(g) = Peso de muestra después de secar ( M final) (g)
- 6) Peso (real) muestra antes de secar (M inicial) (g) – Peso de muestra después de secar ( M final) (g) = Peso de la pérdida de peso (g)

$$\% \text{ de pérdida por secado} = \frac{\text{pérdida de peso(g)}}{\text{peso inicial de muestra antes de secar(g)}} \times 100$$

**Para almidón A**

**Repetición 1**

- |             |                                    |
|-------------|------------------------------------|
| 1) 75.813 g | 4) (76.314 g – 75.813 g) = 0.501 g |
| 2) 76.314 g | 5) (76.267 g – 75.813 g) = 0.454 g |
| 3) 76.267 g | 6) (0.501 g – 0.454 g) = 0.047 g   |

$$\begin{array}{rcl} 0.047\text{g(Pérdida de peso)} & \text{-----} & 0.501\text{g(Minicial)} \\ X & \text{-----} & 100.0\text{ g muestra} \\ & & X = 9.4\% \end{array}$$

**Repetición 2**

- |                    |   |
|--------------------|---|
| <b>1)</b> 70.009 g | <b>4)</b> (70.509 g – 70.009 g) = 0.500 g |
| <b>2)</b> 70.509 g | <b>5)</b> (70.462 g – 70.009 g) = 0.453 g |
| <b>3)</b> 70.462 g | <b>6)</b> (0.500 g – 0.453 g) = 0.047 g   |

$$\begin{array}{rcl} 0.047\text{g(Pérdida de peso)} & \text{-----} & 0.500\text{g(Minicial)} \\ X & \text{-----} & 100.0\text{ g muestra} \\ & & X = 9.4\% \end{array}$$

**Repetición 3**

- |                    |   |
|--------------------|---|
| <b>1)</b> 74.512 g | <b>4)</b> (75.010 g – 74.512 g) = 0.498 g |
| <b>2)</b> 75.010 g | <b>5)</b> (74.962 g – 74.512 g) = 0.450 g |
| <b>3)</b> 74.962 g | <b>6)</b> (0.498 g - 0.450 g) = 0.048 g   |

$$\begin{array}{rcl} 0.048\text{g(Pérdida de peso)} & \text{-----} & 0.498\text{g(Minicial)} \\ X & \text{-----} & 100.0\text{ g muestra} \\ & & X = 9.6\% \end{array}$$

**Promedio de pérdida por secado** = (9.4 + 9.4 + 9.6) % / (3) = 9.5 %

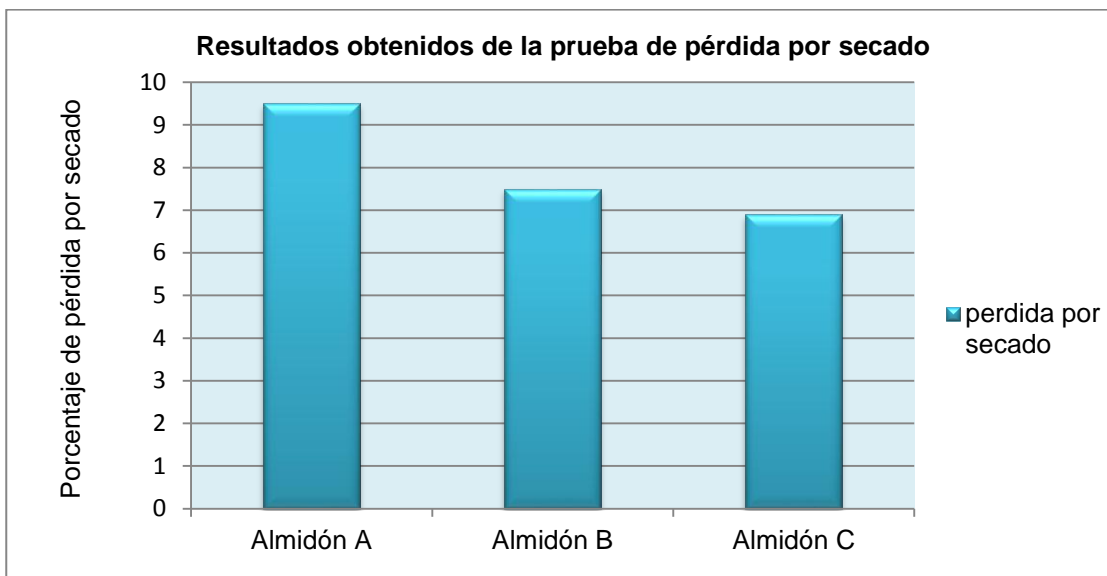
**Tabla N° 28:** Resultados del análisis fisicoquímico de pérdida por secado realizada a los tres tipos de almidones

Tipo de almidón	Pérdida de peso(g)	Porcentaje de pérdida por secado (%)	Promedio de Porcentaje de pérdida por secado (%)
<b>Almidón de raíz de <i>Sechum edule</i> no modificado (A)</b>	0.047	9.4	9.5
	0.047	9.4	
	0.048	9.6	
<b>Almidón de raíz de <i>Sechum edule</i> pregelatinizado (B)</b>	0.037	7.4	7.5
	0.037	7.4	
	0.039	7.8	
<b>Almidón comercial Starch 1500® (C)</b>	0.033	6.6	6.9
	0.034	6.8	
	0.036	7.2	

**Tabla N° 29:** Resultados de la media y desviación estándar de los tres tipos de almidones estudiados en la prueba de pérdida por secado.

Muestra de almidón	Número de mediciones	Promedio de Pérdida por Secado (%)	Desviación Estándar(s)
<b>(A)</b>	3	9.5	0.1224
<b>(B)</b>	3	7.5	0.2345
<b>(C)</b>	3	6.9	0.3082

El presente gráfico muestra el promedio de porcentaje de pérdida por secado de cada almidón en estudio.



**Figura Nº 9:** Gráfico de los resultados obtenidos de la prueba de pérdida por secado

Observando el gráfico se ve que el almidón A presenta el mayor porcentaje de pérdida por secado sobrepasando el valor del estándar de trabajo, al igual que el almidón B pero en menor grado, considerando estos almidones como una propuesta para emplearlos en productos que requieran absorber humedad.

**Tabla Nº 30:** Resultados de análisis estadístico ANOVA para prueba de pérdida por secado

Fuente	Grados de libertad(GI)	Suma de cuadrados(SS)	Media cuadrada(varianza)	F experimental	F tabla
Entre grupos	2	10.8800	5.440	98.900	5.143
Dentro del grupo	6	0.3300	0.055	-	-
Total	8	11.2100	-	-	-

### 5.3.3.2 Interpretación de análisis estadístico de pérdida por secado

Para el análisis estadístico de pérdida por secado se han planteado las siguientes hipótesis:

- Hipótesis nula ( $H_0$ )

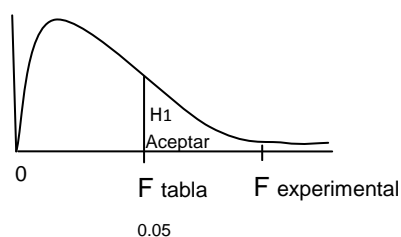
No existe diferencia significativa respecto al porcentaje de pérdida por secado para el almidón de raíz de ***Sechium edule*** no modificado, pregelatinizado y almidón comercial Starch 1500®.

- Hipótesis alternativa ( $H_1$ )

Existe diferencia significativa respecto al porcentaje de pérdida de peso para el almidón de raíz de ***Sechium edule*** no modificado, pregelatinizado y almidón comercial Starch 1500®.

Para que la hipótesis nula se cumpla la F experimental debe ser menor o igual a la F de tabla<sub>0.05</sub> con 8 grados de libertad y para que la hipótesis alternativa se cumpla la F experimental debe ser mayor a la F de tabla<sub>0.05</sub> con 8 grados de libertad.

Por lo tanto, no se cuenta con suficiente evidencia para decir que los tres almidones son iguales a un nivel de significancia de 0.05 y 8 grados de libertad, ya que la F experimental es mayor a la F de tabla<sub>0.05</sub> ( $98.9 > 5.143$ ).



De esta forma, se toma en cuenta la hipótesis alternativa y se lleva a cabo el método de comparación múltiple T de Tukey, para conocer el grado de diferencia entre cada almidón analizado, donde se declararía significativamente diferente un par específico si la diferencia absoluta entre las medias muestrales de cada almidón es igual o excede el rango crítico (RC=0.5876).

Cálculo de rango crítico:

$$RC = Q_{0.05, 3, 6} \sqrt{\frac{0.055}{3}}$$

$$RC = 4.34 \sqrt{\frac{0.055}{3}} = 0.5876$$

**Tabla N° 31:** Resultados de las diferencias absolutas empleando el método de comparaciones múltiples T de Tukey, en la prueba de pérdida por secado a un nivel de significancia de 0.05.\*

Diferencias absolutas entre las medias muestrales	Almidón comercial Starch 1500® (C)	Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> pregelatinizado (B)	Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> no modificado (A)
Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> no modificado (A)	2.6*	2.0*	0
Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> pregelatinizado (B)	0.6*	0	-
Almidón comercial Starch 1500® (C)	0	-	-

Los resultados numéricos en el método de T de Tukey permiten descubrir que ninguna de las medias muestrales entre cada uno de los almidones es inferior al rango crítico, por lo tanto sus diferencias absolutas son significativas.

### 5.3.3.3 Discusión de resultados de pérdida por secado

Es importante considerar esta prueba en los almidones ya que estos en general pueden llegar a absorber hasta un 14% de humedad en condiciones normales, por lo tanto se midió el porcentaje de humedad perdido aplicando calor a cada muestra de almidón para conocer la humedad que había sido absorbida por estos y se obtuvieron los porcentajes de pérdida por secado de cada almidón considerando que estos se encuentran dentro de los valores normales de humedad absorbida por los almidones.

Al interpretar los resultados en la prueba de pérdida de peso, para los almidones de raíz de *Sechium edule* sin modificar; pregelatinizado y almidón comercial Starch 1500®, se confirma mediante el análisis estadístico ANOVA, que sí existe diferencia significativa entre ellos a un nivel de significancia de 0.05 y 8 grados de libertad. Por lo tanto utilizando la prueba T de Tukey se establece que la diferencia es significativa entre todos los almidones, puesto que los valores obtenidos de las diferencias absolutas son superiores al valor de rango crítico ( $2.0 > 0.5876$ ;  $2.6 > 0.5876$ ;  $0.6 > 0.5876$ ).

Sin embargo, al observar el grafico se puede decir que el almidón de raíz de *Sechium edule* (no modificado y pregelatinizado) son similares con el estándar de trabajo (Starch 1500®), ya que presentan un promedio de pérdida por secado superior a éste.

### 5.3.4 Valoración de Fosfatos

#### 5.3.4.1 Resultados de Valoración de Fosfatos

A continuación se muestran los resultados de espectrofotometría para calcular el porcentaje de fosfato presente en cada almidón con su respectivo análisis estadístico.

Ejemplo de cálculos:

Fórmula

$$C_{mx} = \frac{C_{st} \times A_{mx}}{A_{st}} \times FD$$

Donde:

$C_{mx}$ : Concentración de la muestra ;  $C_{st}$ : Concentración del estándar

$A_{mx}$ : Absorbancia de la muestra ;  $A_{st}$ : Absorbancia del estándar

FD: Factor de dilución

#### Para almidón A, repetición 1

$$C_{mx} = \frac{54.3 \mu\text{g/mL} \times 0.202}{0.260} \times 20 = 843.74 \mu\text{g/mL}$$

$$0.00084\text{g} \text{ ————— } 1 \text{ mL}$$

$$X \text{ ————— } 100 \text{ mL}$$

$$X = 0.084\%$$

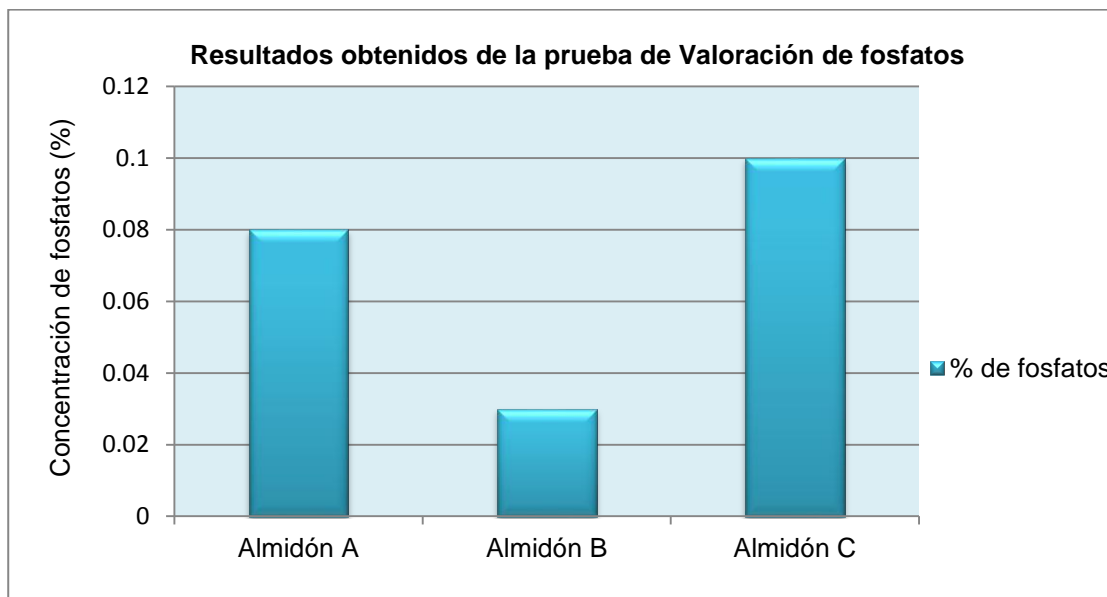
**Tabla N° 32:** Resultados del análisis espectrofotométrico de valoración de fosfatos realizada a los tres tipos de almidones

Tipo de Almidón	Frecuencia de lectura	Lectura de Absorbancia de muestra	Concentración de Fosfatos (µg/mL)	Porcentaje de fosfatos (%)	Promedio porcentaje de fosfatos (%)
<b>Almidón de <i>Sechium edule</i> no modificado (A)</b>	1	0.202	843.74	0.084	0.08%
	2	0.200	835.38	0.083	
	3	0.205	856.27	0.086	
	4	0.207	864.6	0.086	
<b>Almidón de <i>Sechium edule</i> pregelatinizado (B)</b>	1	0.045	246.82	0.025	0.03%
	2	0.048	263.27	0.026	
	3	0.050	274.24	0.027	
	4	0.057	312.64	0.031	
<b>Almidón comercial Starch 1500® (C)</b>	1	0.176	950.93	0.095	0.10%
	2	0.177	956.33	0.096	
	3	0.226	943.98	0.094	
	4	0.229	956.52	0.096	

**Tabla N° 33:** Resultados de la media y desviación estándar de los tres tipos de almidones estudiados en la prueba de valoración de fosfatos.

Muestra de almidón	Número de mediciones	Promedio de valoración de fosfatos (%)	Desviación Estándar(s)
(A)	4	0.08	0.0029
(B)	4	0.03	0.0021
(C)	4	0.10	0.0029

El siguiente gráfico muestra los promedios de concentración de fosfatos en porcentaje para cada almidón en estudio:



**Figura N° 10:** Gráfico de los resultados obtenidos de la prueba de valoración de fosfatos

Fisicoquímicamente el resultado del estándar de trabajo (almidón C) es superior al que se obtuvo del almidón A y B, sin embargo entre ambos almidones la diferencia es significativa ya que la modificación del almidón B, redujo el valor de contenido de fosfatos.

**Tabla N° 34:** Resultados de análisis estadístico ANOVA para prueba de valoración de fosfatos

Fuente	Grados de libertad(GI)	Suma de cuadrados(SS)	Media cuadrada(varianza)	F experimental	F tabla
Entre grupos	2	0.0104	0.0052	200	4.256
Dentro del grupo	9	0.000237	0.000026	-	-
Total	11	0.010637	-	-	-

### 5.3.4.2 Interpretación de análisis estadístico de valoración de fosfatos

Para el análisis estadístico de valoración de fosfatos se han planteado las siguientes hipótesis:

- Hipótesis nula ( $H_0$ )

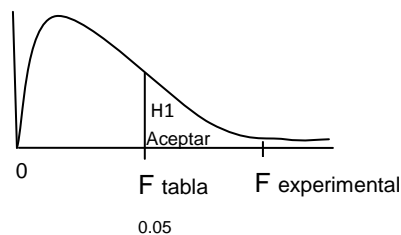
No existe diferencia significativa respecto al porcentaje de valoración de fosfatos para el almidón de raíz de ***Sechium edule*** no modificado, pregelatinizado y almidón comercial Starch 1500®.

- Hipótesis alternativa ( $H_1$ )

Existe diferencia significativa respecto al porcentaje de valoración de fosfatos para el almidón de raíz de ***Sechium edule*** no modificado, pregelatinizado y almidón comercial Starch 1500®.

Para que la hipótesis nula se cumpla la F experimental debe ser menor o igual a la F de tabla<sub>0.05</sub> con 11 grados de libertad y para que la hipótesis alternativa se cumpla la F experimental debe ser mayor a la F de tabla<sub>0.05</sub> con 11 grados de libertad.

Por lo tanto, no se cuenta con suficiente evidencia para decir que los tres almidones son iguales a un nivel de significancia de 0.05 y 11 grados de libertad, ya que la F experimental es mayor a la F de tabla<sub>0.05</sub> ( $200 > 4.256$ ).



De esta forma, se toma en cuenta la hipótesis alternativa y se lleva a cabo el método de comparación múltiple T de Tukey, para conocer el grado de diferencia entre los promedios de cada almidón analizado, donde se declararía significativamente diferente un par específico si la diferencia absoluta entre las medias muestrales de cada almidón es igual o excede el rango crítico (RC=0.01).

Cálculo de rango crítico:

$$RC = Q_{0.05, 3, 9} \sqrt{\frac{0.000026}{4}}$$

$$RC = 3.95 \sqrt{\frac{0.000026}{4}} = 0.010$$

**Tabla N° 35:** Resultados de las diferencias absolutas empleando el método de comparaciones múltiples T de Tukey, en la prueba de valoración de fosfatos a un nivel de significancia de 0.05\*.

Diferencias absolutas entre las medias muestrales	Almidón comercial Starch 1500® (C)	Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> pregelatinizado (B)	Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> no modificado (A)
Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> no modificado (A)	0.02*	0.05*	0
Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> pregelatinizado (B)	0.07*	0	-
Almidón comercial Starch 1500® (C)	0	-	-

#### 5.3.4.3 Discusión de resultados de valoración de fosfatos

Según los resultados en la prueba de valoración de fosfatos, para los almidones de raíz de *Sechium edule* sin modificar, pregelatinizado y almidón comercial

Starch 1500®, se confirma mediante el análisis estadístico ANOVA, que sí existe diferencia significativa entre ellos a un nivel de significancia de 0.05 y 11 grados de libertad. Por lo tanto utilizando la prueba de T de Tukey se establece que la diferencia es significativa entre todos los almidones, puesto que los valores obtenidos de las diferencias absolutas son superiores al valor de rango crítico ( $0.05 > 0.01$ ;  $0.02 > 0.01$ ;  $0.07 > 0.01$ ).

La diferencia de resultados puede deberse a la naturaleza del almidón puesto que el almidón C es extraído del grano de maíz, mientras que el A y B provienen de la raíz de *Sechium edule*, razón por la cual pudo ejercer gran influencia en el contenido de fosfatos, otra causa que puede considerarse es que el grado de fosforilación es un factor importante en la degradación de los gránulos del almidón la cual dependerá de la especie botánica. Por lo tanto los almidones de raíz de *Sechium edule* no son similares con el estándar de trabajo (Starch 1500®)

### **5.3.5 Prueba de Densidad Verdadera (DT)**

#### **5.3.5.1 Resultados de Densidad Verdadera**

Todos los almidones independientemente de su origen, poseen una determinada densidad; en las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos de los tres tipos de almidón en estudio.

Ejemplo de cálculos

Fórmula

$$DT = \frac{W_2 - W_1}{V_2 - V_1}$$

En donde:

W1: peso de probeta

W2: peso de muestra más peso de probeta

V1: volumen leído de los gramos de muestra

V2: volumen de muestra más volumen de fluido de desplazamiento en la probeta

**Para almidón A, repetición 1**

$$DT = \frac{28.3 - 27.3}{2.2 - 1.5} = 1.43 \text{ g/mL}$$

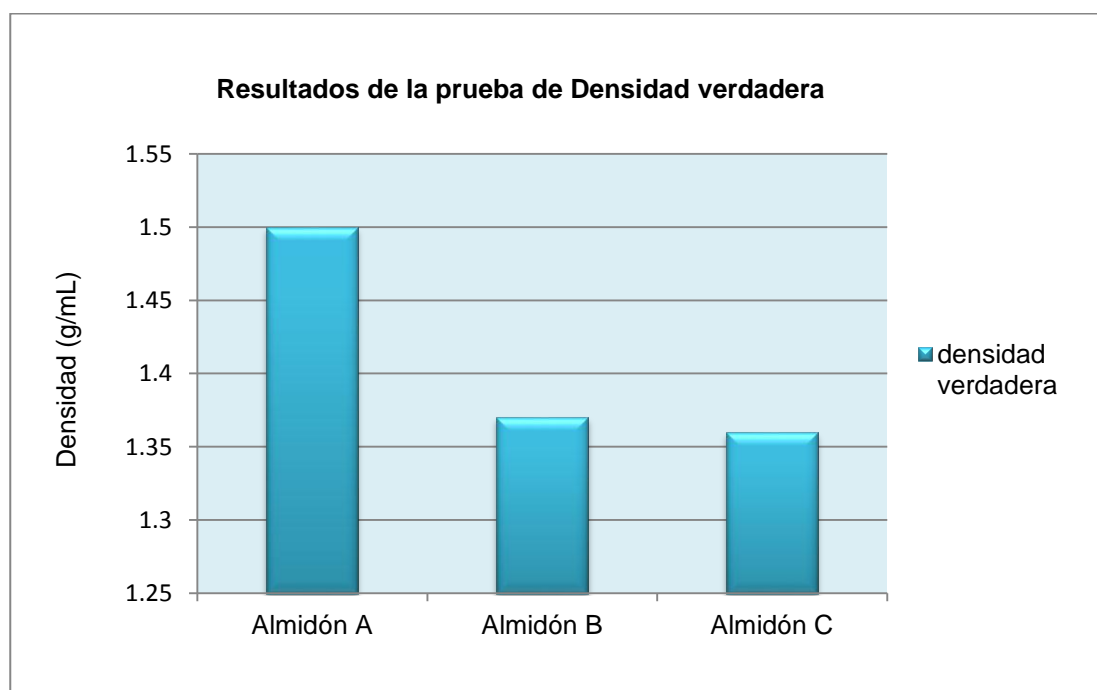
**Tabla N° 36:** Resultados obtenidos de los análisis de la densidad verdadera realizados a los tres almidones

Tipo de Almidón	Repetición	Peso muestra (g)	W <sub>1</sub> (g)	W <sub>2</sub> (g)	V <sub>1</sub> (mL)	V <sub>2</sub> (mL)	DT (g/mL)
Almidón de raíz de <i>Sechum edule</i> no modificado(A)	1	1.0 g	27.3	28.3	1.5	2.2	1.43
	2		27.3	28.4	1.3	2.1	1.40
	3		27.1	28.1	1.4	2.0	1.67
Almidón de raíz de <i>Sechum edule</i> pregelatinizado (B)	1	1.0 g	26.8	27.8	1.5	2.2	1.43
	2		27.0	28.0	1.4	2.2	1.25
	3		27.0	28.0	1.4	2.1	1.43
Almidón comercial Starch 1500® (C)	1	1.0 g	27.0	28.0	1.3	2.1	1.25
	2		27.1	28.2	1.4	2.1	1.57
	3		27.0	28.0	1.4	2.1	1.43

**Tabla N° 37:** Resultados de la media y desviación estándar de los tres tipos de almidones estudiados en la prueba de densidad verdadera.

Muestra de almidón	Número de mediciones	Promedio Densidad Verdadera (g/mL)	Desviación Estándar (s)
(A)	3	1.50	0.1479
(B)	3	1.37	0.1039
(C)	3	1.36	0.1605

El siguiente gráfico muestra los promedios de densidad verdadera para cada almidón en estudio:



**Figura N° 11:** Grafico de los resultados obtenidos de la prueba de densidad verdadera

El gráfico demuestra que el valor de densidad del almidón A es superior al valor de densidades del almidón B y almidón C, diciendo así que la modificación de los almidones influye en la disminución de su densidad verdadera.

**Tabla N° 38:** Resultados de análisis estadístico ANOVA para prueba de densidad verdadera.

Fuente	Grados de libertad(GI)	Suma de cuadrados(SS)	Media cuadrada(varianza)	F experimental	F Tabla
Entre grupos	2	0.0258	0.0129	0.6615	5.143
Dentro del grupo	6	0.1169	0.0195	-	-
Total	8	0.1427	-	-	-

### 5.3.5.2 Interpretación de análisis estadístico de densidad verdadera

Para el análisis estadístico de densidad verdadera se han planteado las siguientes hipótesis:

- Hipótesis nula ( $H_0$ )

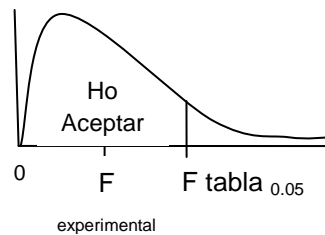
No existe diferencia significativa respecto a la densidad verdadera para el almidón de raíz de *Sechium edule* no modificado, pregelatinizado y almidón comercial Starch 1500®.

- Hipótesis alternativa ( $H_1$ )

Existe diferencia significativa respecto a la densidad verdadera para el almidón de raíz de *Sechium edule* no modificado, pregelatinizado y almidón comercial Starch 1500®.

Para que la hipótesis nula se cumpla la F experimental debe ser menor o igual a la F de tabla<sub>0,05</sub> con 8 grados de libertad y para que la hipótesis alternativa se cumpla la F experimental debe ser mayor a la F de tabla<sub>0,05</sub> con 8 grados de libertad.

Por lo tanto, la hipótesis nula se acepta debido a que estadísticamente no existe diferencia significativa entre todos los almidones con respecto a la prueba de Densidad verdadera ya que la F experimental es menor a la F de tabla<sub>0.05</sub> ( $0.8206 < 5.143$ ) a un nivel de significancia de 0.05 y 8 grados de libertad.



### 5.3.5.3 Discusión de resultados de Densidad verdadera

El análisis estadístico de la prueba de densidad verdadera demuestra que no existe diferencia significativa entre los tres almidones.

Desde el punto de vista fisicoquímico al observar el gráfico, el almidón sin modificar (de raíz de *Sechium edule*) presenta mayor densidad verdadera, seguido del almidón B, pudiéndose decir que el almidón de raíz de *Sechium edule* no modificado y pregelatinizado pueden ser comparables con el almidón comercial Starch 1500® por tener resultados superiores al estándar de trabajo y por no existir diferencia significativa estadísticamente.

### 5.3.6 Densidad Global (DB)

#### 5.3.6.1 Resultados de Densidad Global

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la determinación de densidad global para cada almidón.

Ejemplo de cálculo:

Fórmula

$$DB = \frac{W_2 - W_1}{V_1}$$

En donde:

W1: peso de probeta

W2: peso de muestra más peso de probeta

V1: volumen leído de los gramos de muestra

**Para almidón A, repetición 1**

$$DB = \frac{28.3 - 27.3}{1.5} = 0.7 \text{ g/mL}$$

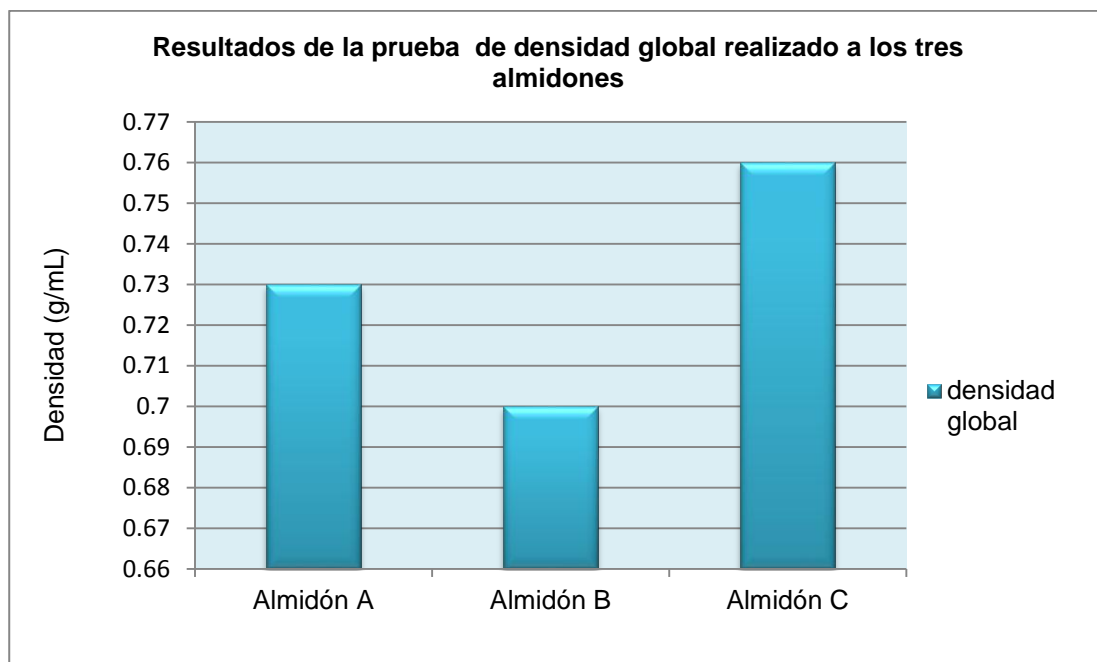
**Tabla N° 39:** Resultados obtenidos de los análisis de densidad global realizados a los tres almidones.

Tipo de Almidón	Repetición	Peso de muestra(g)	W <sub>1</sub> (g)	W <sub>2</sub> (g)	V <sub>1</sub> (mL)	DB (g/mL)
Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> no modificado (A)	1	1.0 g	27.3	28.3	1.5	0.7
	2		27.3	28.4	1.3	0.8
	3		27.1	28.1	1.4	0.7
Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> pregelatinizado(B)	1	1.0 g	26.8	27.8	1.5	0.7
	2		27.0	28.0	1.4	0.7
	3		27.0	28.0	1.4	0.7
Almidón comercial Starch 1500® (C)	1	1.0 g	27.0	28.0	1.3	0.8
	2		27.1	28.2	1.4	0.8
	3		27.0	28.0	1.4	0.7

**Tabla N° 40:** Resultados de la media y desviación estándar de los tres tipos de almidones estudiados en la prueba de densidad global.

Muestra de almidón	Número de mediciones	Promedio densidad global (g/mL)	Desviación Estándar (s)
(A)	3	0.73	0.0578
(B)	3	0.70	0.0000
(C)	3	0.76	0.0583

El siguiente gráfico muestra los promedios de densidad global para cada almidón en estudio:



**Figura N° 12:** Gráfico de los resultados obtenidos en la prueba de densidad global

En esta prueba se observa con respecto al gráfico que aumentan los resultados en el estándar de trabajo (almidón C).

**Tabla N° 41:** Resultados de análisis estadístico ANOVA para prueba de densidad global.

Fuente	Grados de libertad(GI)	Suma de cuadrados(SS)	Media cuadrada(varianza)	F experimental	F tabla
Entre grupos	2	0.0054	0.0027	1.1739	5.143
Dentro del grupo	6	0.0135	0.0023	-	-
Total	8	0.0189	-	-	-

### 5.3.6.2 Interpretación de análisis estadístico de densidad global

Para el análisis estadístico de densidad global se han planteado las siguientes hipótesis:

- Hipótesis nula ( $H_0$ )

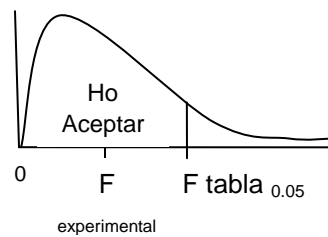
No existe diferencia significativa respecto a la densidad global para el almidón de raíz de ***Sechium edule*** no modificado, pregelatinizado y almidón comercial Starch 1500®.

- Hipótesis alternativa ( $H_1$ )

Existe diferencia significativa respecto a la densidad global para el almidón de raíz de ***Sechium edule*** no modificado, pregelatinizado y almidón comercial Starch 1500®.

Para que la hipótesis nula se cumpla la F experimental debe ser menor o igual a la F de tabla<sub>0,05</sub> con 8 grados de libertad y para que la hipótesis alternativa se cumpla la F experimental debe ser mayor a la F de tabla<sub>0,05</sub> con 8 grados de libertad.

Por lo tanto, la hipótesis nula se acepta debido a que estadísticamente no existe diferencia significativa entre todos los almidones con respecto a la prueba de densidad global ya que la F experimental es menor a la F de tabla<sub>0.05</sub> ( $1.1739 < 5.143$ ) a un nivel de significancia de 0.05 y 8 grados de libertad.



### 5.3.6.3 Discusión de resultados de densidad global

El análisis estadístico de la prueba de densidad global demuestra que no existe diferencia significativa entre los tres almidones, por lo tanto se puede decir que el almidón A y B son comparables con el estándar de trabajo (Starch 1500®), y esto se ve reflejado al observar el gráfico notando que los resultados son bastante similares entre sí.

## 5.3.7 Porosidad

### 5.3.7.1 Resultados de Porosidad

A continuación se muestra la tabulación de los datos obtenidos de la prueba de porosidad realizada a los tres almidones en estudio.

Ejemplo de cálculos:

Fórmula

$$\text{Porosidad} = 1 - \frac{DB}{DT}$$

Donde:

1: Constante

DB: Densidad global

DT: Densidad verdadera

**Para almidón A, repetición 1**

$$\text{Porosidad} = 1 - \frac{0.7 \text{ g/mL}}{1.43 \text{ g/mL}} = 0.51$$

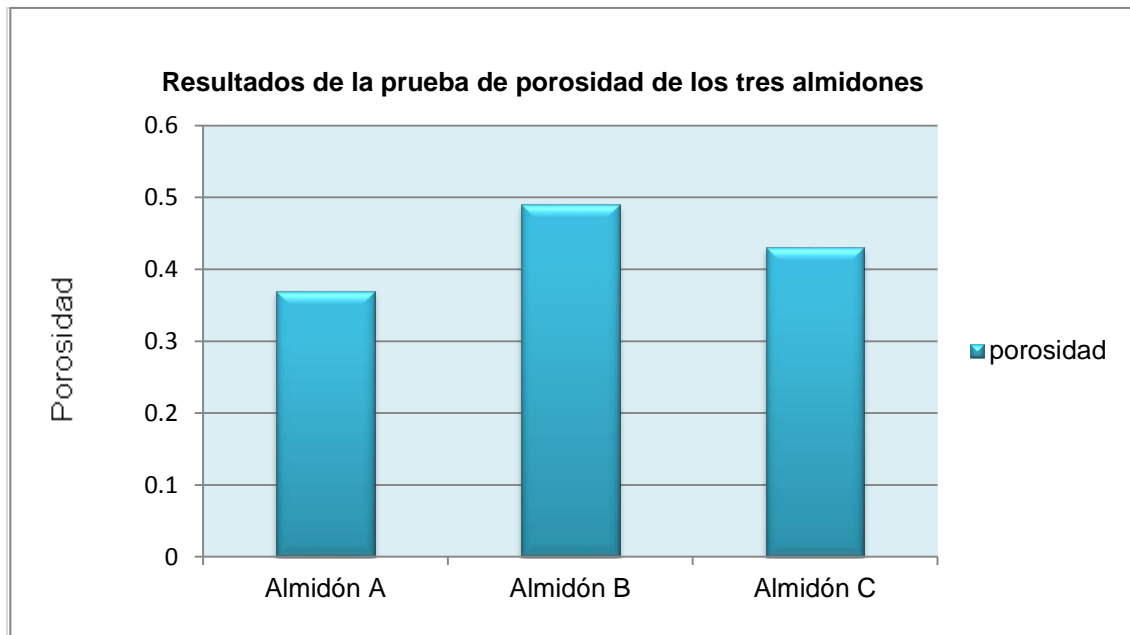
**Tabla N° 42:** Resultados obtenidos de los análisis de porosidad realizados a los tres almidones.

Tipo de Almidón	Repetición	Peso de muestra (g)	DT (g/mL)	DB (g/mL)	Porosidad
Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> no modificado (A)	1	1.0 g	1.43	0.7	0.51
	2		1.4	0.8	0.43
	3		1.67	0.7	0.58
Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> pregelatinizado (B)	1	1.0 g	1.43	0.7	0.51
	2		1.25	0.7	0.44
	3		1.43	0.7	0.51
Almidón comercial Starch 1500® (C)	1	1.0 g	1.25	0.8	0.36
	2		1.57	0.8	0.49
	3		1.43	0.7	0.51

**Tabla N° 43:** Resultados de la media y desviación estándar de los tres tipos de almidones estudiados en la prueba de porosidad.

Muestra de almidón	Número de mediciones	Promedio porosidad	Desviación Estándar (s)
(A)	3	0.51	0.0752
(B)	3	0.49	0.0406
(C)	3	0.45	0.0815

El siguiente gráfico muestra el promedio del cálculo de porosidad para cada almidón en estudio:



**Figura N° 13:** Gráfico de los resultados obtenidos de la prueba de porosidad

La porosidad del almidón A y B no presentan diferencia significativa al compararlos con los resultados del almidón C, ya que de forma fisicoquímica los resultados así lo demuestran.

**Tabla N° 44:** Resultados de análisis estadístico ANOVA para prueba de porosidad.

Fuente	Grados de libertad(GI)	Suma de cuadrados(SS)	Media cuadrada(varianza)	F experimental	F tabla
Entre grupos	2	0.0057	0.00285	1.6129	5.143
Dentro del grupo	6	0.0279	0.00465	-	-
Total	8	0.0336	-	-	-

### 5.3.7.2 Interpretación de análisis estadístico de Porosidad

Para el análisis estadístico de porosidad se han planteado las siguientes hipótesis:

- Hipótesis nula ( $H_0$ )

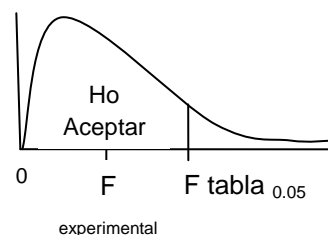
No existe diferencia significativa respecto a la porosidad para el almidón de raíz de ***Sechium edule*** no modificado, pregelatinizado y almidón comercial Starch 1500®.

- Hipótesis alternativa ( $H_1$ )

Existe diferencia significativa respecto a la porosidad para el almidón de raíz de ***Sechium edule*** no modificado, pregelatinizado y almidón comercial Starch 1500®.

Para que la hipótesis nula se cumpla la F experimental debe ser menor o igual a la F de tabla<sub>0,05</sub> con 8 grados de libertad y para que la hipótesis alternativa se cumpla la F experimental debe ser mayor a la F de tabla<sub>0,05</sub> con 8 grados de libertad.

Por lo tanto, la hipótesis nula se acepta debido a que estadísticamente no existe diferencia significativa entre todos los almidones con respecto a la prueba de porosidad ya que la F experimental es menor a la F de tabla<sub>0,05</sub> ( $1.3636 < 5.143$ ) a un nivel de significancia de 0.05 y 8 grados de libertad.



### 5.3.7.3 Discusión de resultados de Porosidad

La prueba de porosidad permite obtener un parámetro de la superficie interna de los gránulos de almidón, la cual al analizar los resultados, estos indican que cuando se modifican los almidones pueden mejorar dichas propiedades, siendo esta prueba muy importantes en la caracterización de los almidones.

El análisis estadístico de la prueba de porosidad demuestra que no existe diferencia significativa entre los tres almidones, por lo tanto se puede decir que los almidones de la raíz de ***Sechium edule*** (no modificado y pregelatinizado) son similares con el estándar de trabajo (Starch 1500®).

**Tabla N° 45:** Resumen de los resultados estadísticos obtenidos de las pruebas principales y complementarias realizadas a los tres almidones estudiados.

Determinación		Tipo de almidón	Análisis estadístico ANOVA	Método de comparación múltiple T de Tukey	
				Diferencia absoluta entre la media muestral	Resultado
Viscosidad	Agua	A	Existe diferencia significativa (H <sub>1</sub> )	A-B	D no S
		B		A-C	DS
		C		B-C	DS
	KOH	A	Existe diferencia significativa (H <sub>1</sub> )	A-B	DS
		B		A-C	DS
		C		B-C	DS
Índice de hinchamiento		A	Existe diferencia significativa (H <sub>1</sub> )	A-B	DS
		B		A-C	DS
		C		B-C	DS
Punto de gelatinización		A	Existe diferencia significativa (H <sub>1</sub> )	A-B	D no S
		B		A-C	DS
		C		B-C	DS
Capacidad de retención de agua		A	Existe diferencia significativa (H <sub>1</sub> )	A-B	D no S
		B		A-C	DS
		C		B-C	DS
Sustancias solubles		A	No existe diferencia significativa (H <sub>0</sub> )	--	--
		B		--	--
		C		--	--
Acidez titulable		A	Existe diferencia significativa (H <sub>1</sub> )	A-B	DS
		B		A-C	D no S
		C		B-C	D no S
Pérdida por secado		A	Existe diferencia significativa (H <sub>1</sub> )	A-B	DS
		B		A-C	DS
		C		B-C	DS
Valoración de fosfatos		A	Existe diferencia significativa (H <sub>1</sub> )	A-B	DS
		B		A-C	DS
		C		B-C	DS
Densidad Verdadera		A	No existe diferencia significativa (H <sub>0</sub> )	--	--
		B		--	--
		C		--	--
Densidad Global		A	No existe diferencia significativa (H <sub>0</sub> )	--	--
		B		--	--
		C		--	--
Porosidad		A	No existe diferencia significativa (H <sub>0</sub> )	--	--
		B		--	--
		C		--	--

DS: La diferencia es significativa

D no S: La diferencia no es significativa

(--) No es aplicable el método de comparación múltiple T de Tukey

**CAPÍTULO VI**  
**CONCLUSIONES**

## 6. CONCLUSIONES

1. En la prueba de viscosidad se comprobó que el mejor disolvente para llevar a cabo esta determinación fue el hidróxido de potasio 0.1M ya que actúa como un polielectrolito a pH superiores a 12, <sup>(8)</sup> favoreciendo así la cohesión y la expansión molecular y como consecuencia se ve aumentada la viscosidad.
2. Se pudo comprobar que el proceso de modificación en el almidón de raíz de ***Sechium edule***, influyó en los resultados de índice de hinchamiento, Punto de gelatinización, Capacidad de retención de agua, Acidez titulable y Porosidad, aumentando significativamente con respecto al almidón no modificado.
3. En base al análisis estadístico se comprobó que el almidón de la raíz de ***Sechium edule*** no modificado y pregelatinizado no son comparables con el almidón comercial Starch 1500® ya que en las determinaciones principales realizadas en este estudio (Viscosidad, Índice de hinchamiento, Punto de gelatinización y Capacidad de retención de agua) se rechazó la hipótesis nula y por lo tanto se consideran diferentes.

4. Desde el punto de vista fisicoquímico analizando los resultados de todas las pruebas de caracterización de los almidones, se puede decir que los almidones de raíz de ***Sechium edule*** (no modificado y pregelatinizado) pueden ser comparables con el patrón de referencia Starch 1500®, ya que algunos resultados tanto del almidón A como el almidón B fueron cercanos a éste, por lo tanto se considera que dichos almidones pueden ser una alternativa viable para ser empleado en distintas áreas de la industria.
  
5. Se considera que entre el almidón de raíz de ***Sechium edule*** no modificado y el almidón pregelatinizado obtenido de la misma fuente, presentan diferencia tanto estadística como fisicoquímicamente y que en algunos casos (Índice de hinchamiento, Punto de gelatinización, Capacidad de retención de agua, entre otras) dichas propiedades se ven mejoradas con el proceso de pregelatinización.

**CAPITULO VII**  
**RECOMENDACIONES**

## 7. RECOMENDACIONES

1. Llevar a cabo nuevas investigaciones que permitan descubrir si existe diferencia en el contenido de almidón en las raíces de ***Sechium edule*** en base al periodo de desarrollo de ésta especie botánica.
2. Que en futuras investigaciones se pueda realizar a los almidones de raíz de ***Sechium edule*** pruebas de compactación, desintegración, friabilidad, disolución, capacidad de adhesión, entre otras, de tal manera que se pueda comprobar si tiene aplicación en la elaboración de tabletas.
3. Que la buena captación de humedad que presentan los almidones de raíz de ***Sechium edule***, tanto no modificado como pregelatinizado, los hace útiles para ser empleados en talcos cosméticos, talcos medicados y en otros productos que requieran absorber humedad.
4. Realizar análisis microbiológico y toxicológico al almidón obtenido de la raíz de ***Sechium edule***, para determinar si se encuentra dentro de los límites normales permitidos para ser utilizado.

5. Implementar en futuros trabajos de graduación, un método normalizado para tratar el almidón extraído de la raíz de ***Sechium edule*** con la finalidad que éste presente mayor grado de pureza y mejor rendimiento.
  
6. Utilizar el almidón de la raíz de ***Sechium edule*** no modificado y pregelatinizado como un excipiente en la industria farmacéutica u otras, quedará a criterio del analista, ya que los resultados de esta investigación se consideran fisicoquímicamente comparables al estándar de referencia (Starch 1500®) no así estadísticamente.
  
7. Realizar la normalización de los métodos de caracterización del almidón de la raíz de ***Sechium edule*** no modificado y pregelatinizado con el fin de obtener resultados reproducibles.

## **BIBLIOGRAFIA**

## BIBLIOGRAFÍA

1. Albright, J. G., y otros. Handbook of chemistry and physics a ready reference book of chemical and physical data. 1962. 44<sup>a</sup> edición. Chemical Rubber Publishing Company.1224-1225p
2. Araujo, C. y otros. 2004. Caracterización de almidón nativo de ***Dioscorea bulbifera* L.** Revista ALAN (Archivos Latinoamericanos de Nutrición). 54(2):241 Consultado el 26 de mayo. 2009. Disponible en [http://www.Alanrevista.org/ediciones/20042/1tarch1tinizaci\\_almidón\\_nativo\\_dioscorea\\_bulbifera\\_l.asp](http://www.Alanrevista.org/ediciones/20042/1tarch1tinizaci_almidón_nativo_dioscorea_bulbifera_l.asp)
3. Badui, D. S. 2006. Química de los alimentos. 4<sup>ta</sup> edición. Editorial Pearson. Addison Wesley. p 81-90.
4. Berenson, M.L. y otro.1992. Estadística básica en administración, conceptos y aplicaciones. 4<sup>ta</sup> edición. Editorial Prentice-Hall Hispanoamérica, S.A. 483-513p
5. Bonilla Alvarenga, J.2008. Comparación del comportamiento de tabletas placebo utilizando almidón de maíz y almidones oxidados como agentes desintegrantes. Trabajo de Graduación. Lic. Qca. y Fcia. San Salvador, El Salvador. Facultad de Química y Farmacia. Universidad de El Salvador. 10 p.
6. Brookfield Engineering Laboratories. Brookfield Digital Viscometer. Manual N°.M/98-350-G0307.Estados Unidos.

7. Castellam, G.W. 1998. Fisicoquímica. 2a ed. Impreso en México. Editorial Addison Wesley Longmon. p 792-794.
8. Everaldo Montes, M. y otros. 2008. Evaluación de las propiedades modificadas por vía enzimática del almidón de Ñame (*D.trífida*) utilizando  $\alpha$ -amilosa de la Universidad de Antioquia, Medellín Colombia. 15(1):51-60. Consultada el 15 de marzo de 2009. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/vitae/v15n1/v15n1a07.pdf>
9. FAO-MAG. (Organización de Agricultura y Alimentos-Ministerio de Agricultura y Ganadería) 2004. Proyecto programador de Siembra de Hortalizas y Frutas. Editorial Graficador. El Salvador. 16-17 p. Consultado el 22 de mayo de 2009.
10. Flores, E. M. 1989. El chayote, *Sechium edule swartz* (Cucurbitaceae). Revista de biología tropical de la Universidad de Costa Rica, C. A. 37 (1): 1-54.
11. Franco Baires, G. R. y otros.2003. Elaboración de una guía práctica para la preparación de reactivos químicos y estándares de uso frecuente en el análisis químico. Trabajo de Graduación. Lic. Qca. Y Fcia. San Salvador, El Salvador. Facultad de Química y Farmacia. Universidad de El Salvador. 44, 46, 49,58, 69p.
12. Garzón, S. M. 2006. Almidón retrogradado para uso en compresión directa. Caracterización y pregelatinización del almidón de chayote. Revista

Mexicana de Ciencias Farmacéuticas. 37(1):18-27. Consultado el 9 de marzo. 2009. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/Art>

13. Guzmán, D.J. 1974. Especies útiles de la flora Salvadoreña, San Salvador, ESA. v.1, 304-307 p.
14. Hernández Medina, M.; Torruco Uco, J.; Chel Guerrero, L.; Betancur Ancona, D. 2008. Congreso de Ciencias de los Alimentos (IX) y Foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos (V). 2007. Instituto de Ciencias Agrícolas. Universidad de Guanajuato. 2008. Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán, México, 718p. Consultada el 9 de marzo. 2009. Disponible en :<http://www.respyn.uanl.mx/especiales/2007/ee-12-2007/documentos/CNCA-2007-12.pdf>
15. Kirk, E. R. y otros. 1961. Enciclopedia de Tecnología química, impreso en México. Tomo 2 ,3-15 p; Tomo 11, 701 p; Tomo 13, 735-736 p; Tomo 16, 107 y 115 p.
16. López, Luz Marina. 2009. Trabajo de Graduación. Lic. Qca. Y Fcia. San Salvador, El Salvador. Determinación de parámetros de desempeño en métodos analíticos espectrofotométricos específicos para cuantificar fosforo y potasio en suelos utilizados para cultivo de café. Facultad de Química y Farmacia. Universidad de El Salvador. 41 p. Consultada el 10 de septiembre de 2009

- 17.** MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería).2004. Directorio Agropecuario de Productos y Servicios. Editorial Graficador. El Salvador. 5-6 p.  
Consultado el 22 de mayo de 2009.
- 18.** Marón, S.H. y otros. 1984. Fundamentos de Físicoquímica. 2 ed. Impreso en México, editorial Limusa. p 66-67.
- 19.** Miguel Martínez, A. y otro. 2005. Comparación del almidón de maíz con el almidón modificado cuando es oxidado con permanganato de potasio ( $\text{KMnO}_4$ ) y dicromato de potasio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ). Trabajo de Graduación. Lic. Qca. Y Fcia. San Salvador, El Salvador. Facultad de Química y Farmacia. Universidad de El Salvador. 11p.
- 20.** Roque Mendoza, C. A. y otro. 2004. Obtención y caracterización del almidón de maíz oxidado para su posible uso como agente aglutinante en la industria farmacéutica. Trabajo de Graduación. Lic. Qca. y Fcia. San Salvador, El Salvador. Facultad de Química y Farmacia. Universidad de El Salvador. 11 p.
- 21.** United States Pharmacopeial Convention, Inc., The United States Pharmacopeia Twenty-eight Revision. USP 28. The National Formulary. Twenty-third Edition. NF 23. USA. January 2005.
- 22.** Vaclavik, V. A. y otros. 1998. Fundamentos de ciencia de los alimentos. Zaragoza ESP. Editorial Acribia. p41, 49, 50 y 102
- 23.** <http://ar.geocities.com/loschayotes/chayotes/indexa.htm>. Consultado el 29 de marzo de 2009.

24. <http://bioaplicaciones.galeon.com/Der.html>. Consultado el 21 de abril de 2009.
25. <http://foro.fuentepermacultura.org/index.php?topic=475.0>. Consultado el 21 de abril de 2009.
26. <http://www.bolivar.udo.edu.ve/biologia/Polisacaridos.htm>. Consultada el 29 de marzo de 2009.
27. <http://www.botanical-online.com/florchayote.htm>. Consultado el 21 de abril de 2009.
28. <http://www.fao.org/ag/esp/revista/9809/spot3.htm>. Consultado el 2 de mayo de 2009.
29. <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r18748.DOC>. Consultado el 2 de mayo de 2009.
30. [http://www.mag.gob.sv/administrador/archivos/0/cat/file\\_9.pdf](http://www.mag.gob.sv/administrador/archivos/0/cat/file_9.pdf). Consultado el 3 de mayo de 2009.
31. [http://www.mag.gob.sv/administrador/archivos/1/file\\_1521.pdf](http://www.mag.gob.sv/administrador/archivos/1/file_1521.pdf). Consultado el 3 de mayo de 2009.
32. <http://www.mat.uda.cl/hsalinas/cursos/2008/probabilidad/TablaF05.pdf> consultado el 14 de agosto de 2009.
33. <http://www.quimatic.cl/industria-alimenticia/almidones-modificados.html>. Consultado el 1 de julio de 2009.
34. <http://www.quiminet.com/pr4/Almidones%2Bmodificados.htm>. Consultada el 1 de julio de 2009.

- 35.** <http://www.quiminet.com/pr5/Viscosimetro%2Brotacional%2Bbrookfield%2Bku.htm>. Consultado el 21 de mayo de 2009.
- 36.** [http://www.sica.gov.ec/agronegocios/Biblioteca/Ing%20Rizzo/perfiles\\_productos/YUCA.pdf](http://www.sica.gov.ec/agronegocios/Biblioteca/Ing%20Rizzo/perfiles_productos/YUCA.pdf). Consultado el 10 de octubre de 2009.
- 37.** <http://www.xtec.cat/~gjimene2/llicencia/students/05tecnicas.html>. Consultado el 3 de julio de 2009.
- 38.** [www. Merck-chemicals.com](http://www.Merck-chemicals.com) consultada el 07 de septiembre de 2009.
- 39.** [www.infoagro.com/noticias/hemeroteca.asp?f=13/10/](http://www.infoagro.com/noticias/hemeroteca.asp?f=13/10/). Consultado el 2 de mayo de 2009.
- 40.** [www.panreac.com/new/esp/fds/espX/1311555.htm](http://www.panreac.com/new/esp/fds/espX/1311555.htm): consultada el 07 de septiembre de 2009.
- 41.** [www.scielo.org.pe/scielo.php%3Fpid%3DS1810-](http://www.scielo.org.pe/scielo.php%3Fpid%3DS1810-). Consultado el 16 de abril de 2009.

## **ANEXOS**

**ANEXO N° 1**  
**FOTOGRAFIAS DE GENERALIDADES DE *Sechium edule* Y**  
**ALMIDÓN**

FOTOGRAFIAS DE GENERALIDADES DE *Sechium edule* Y ALMIDÓN



Figura N° 14: *Sechium edule* (güisquil) verde sin espinas. (23)



Figura N° 15: Hojas, tallo y fruto del *Sechium edule*. (23)



Figura N° 16: Flores, fruto y semilla de *Sechium edule* (23)



**Figura N° 17:** Sistema radical del *Sechium edule*.



**Figura N° 18:** Posición de sembrado del güisquil.



**Figura N° 19:** Almidón (28)

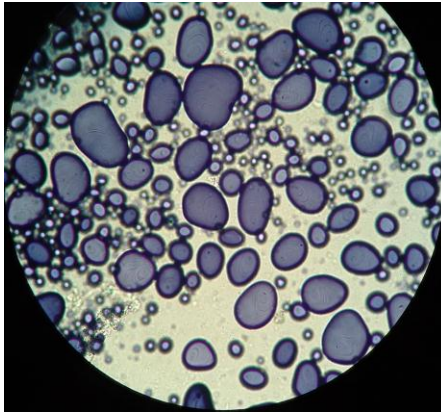


Figura N° 20: Gránulos de almidón al microscopio. (41)

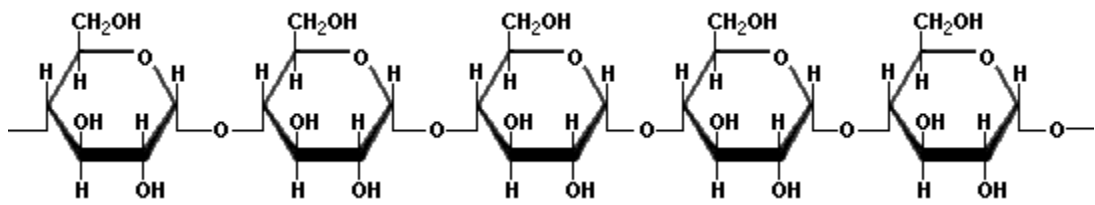


Figura N° 21: Amilosa<sup>(26)</sup>

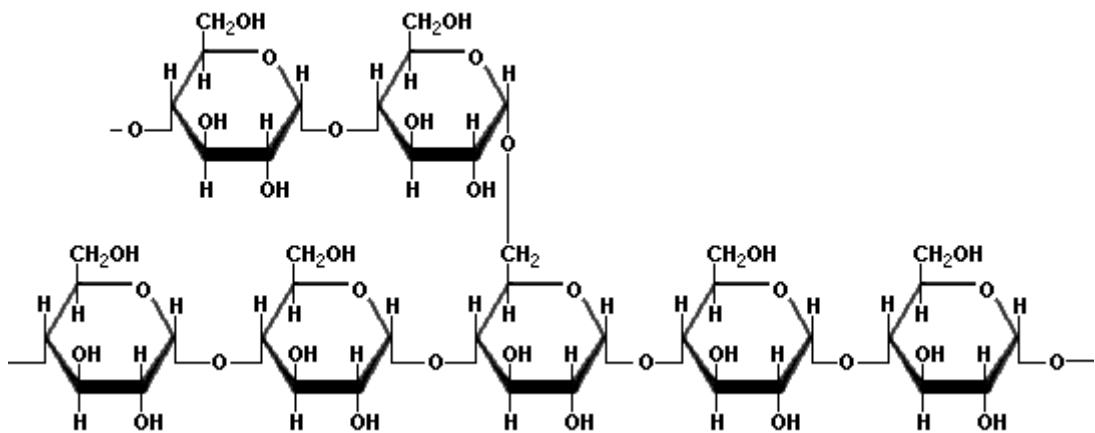


Figura N° 22: Amilopectina<sup>(26)</sup>

**ANEXO N° 2**  
**COMPARACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL FRUTO Y RAÍZ**  
**DE *Sechium edule***

## COMPARACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL FRUTO Y RAÍZ DE *Sechium edule*

**Figura N° 23:** Tabla de la composición química del fruto de *Sechium edule* (güisquil)

Componente Alimento	<i>Sechium edule</i> Crudo	<i>Sechium edule</i> Cocido con sal
Agua %	90.8	93.4
Energía Kcal	31	24
Grasa g	0.9	0.6
Proteína g	0.2	0.5
Carbohidratos g	7.7	5.1
Calcio Mg	12	13
Fosforo Mg	30	29
Hierro Mg	0.6	0.2
Tiamina Mg	0.03	0.03

**Figura N° 24:** Tabla de la composición química de la raíz de *Sechium edule*

Componentes	Porcentaje (%)
Agua	71.00
Almidón	20.00
Resina soluble en agua	0.20
Azúcar	0.32
Albúmina	0.43
Celulosa blanda	5.80
Tartrato de potasa, NaCl, Ca, Si	2.25
<b>Total</b>	<b>100 %</b>

Fuente: OPS, INCAP. Tabla de Composición de Alimentos de Centroamérica, Guatemala 1998.

**ANEXO N° 3**  
**DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ALMIDÓN**

# DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ALMIDÓN

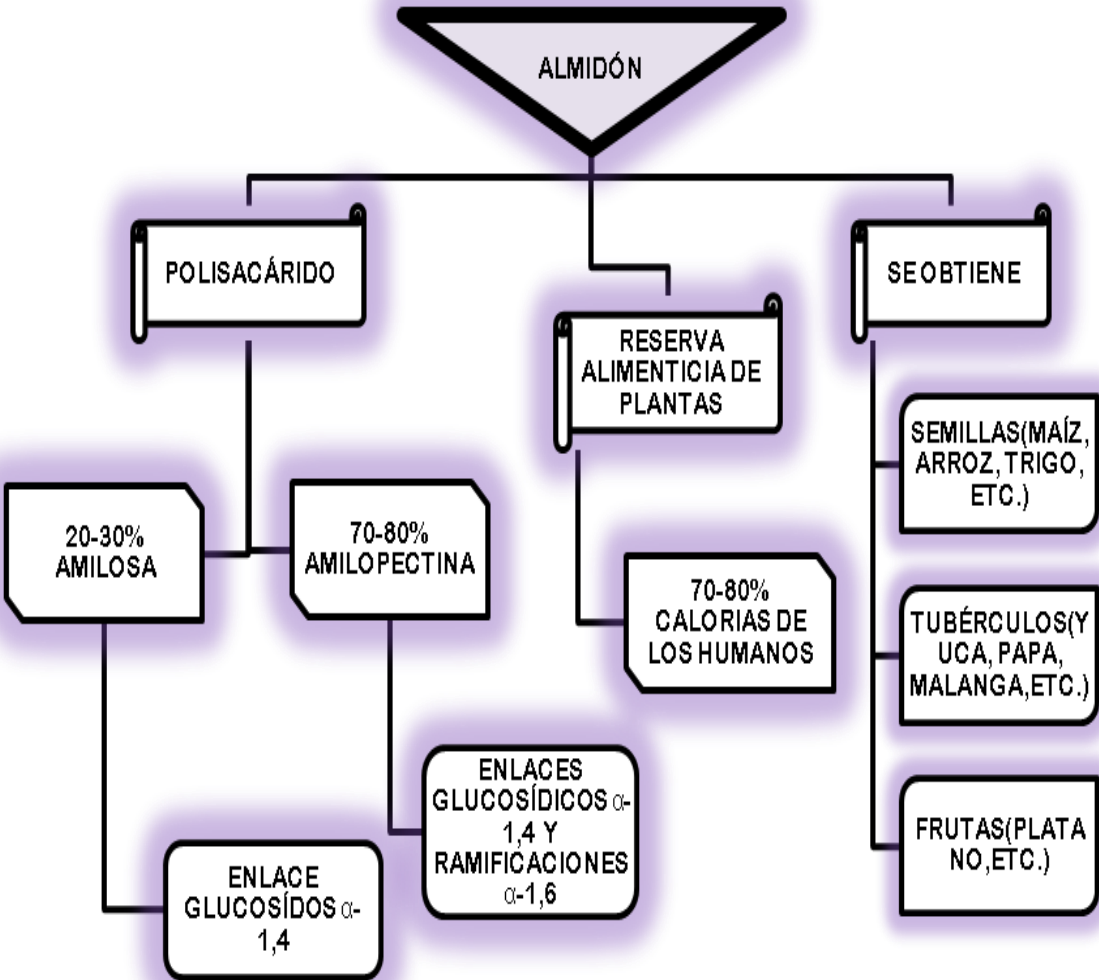


Figura N° 25: Esquema del origen y composición del almidón (19)

**ANEXO N° 4**  
**UBICACIÓN GEOGRAFICA DEL SITIO DE RECOLECCIÓN DE LA**  
**RAÍZ DE *Sechium edule***



Figura N° 26: Mapa de El Salvador

Zona donde se recolectaron las raíces de güisquil,  
Departamento de La Libertad, Colon.

**ANEXO N° 5**  
**IDENTIFICACIÓN DE LAS ZONAS GÜISQUILERAS DEL TERRITORIO**  
**SALVADOREÑO**

**IDENTIFICACION DE LAS ZONAS GUISQUILERAS DEL TERRITORIO SALVADOREÑO**



**Figura Nº 27:** Mapa de las zonas güisquileras en El Salvador

**ANEXO N° 6**  
**EQUIPO REQUERIDO EN EL ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO**

## EQUIPO REQUERIDO EN EL ANÁLISIS FISCOQUÍMICO



**Figura N° 28:** Viscosímetro Digital Brookfield  
RV-DVE



**Figura N° 29:** Centrifugadora  
LW Scientific  
Ultra-8V



**Figura N° 30:** Mufla Lindberg® SB



**Figura N° 31:** Espectrofotómetro  
Genesys 20. Thermo  
Spectronic

**ANEXO N° 7**  
**FOTOGRAFÍAS DE LAS ETAPAS EN EL PROCESO DE OBTENCIÓN**  
**DEL ALMIDÓN NO MODIFICADO, PREGELATINIZADO Y ANÁLISIS**  
**FISICOQUÍMICO DE ESTOS Y STARCH 1500®**

**FOTOGRAFÍAS DE LAS ETAPAS EN EL PROCESO DE OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN NO MODIFICADO, PREGELATINIZADO Y ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE ESTOS Y STARCH 1500®**



**Figura N° 32:** Recolección de raíz de *Sechium edule* (güisquil) de la güisquilera del Caserío El Rodeo, cantón Entre Ríos, Lourdes Colon. Departamento de La Libertad



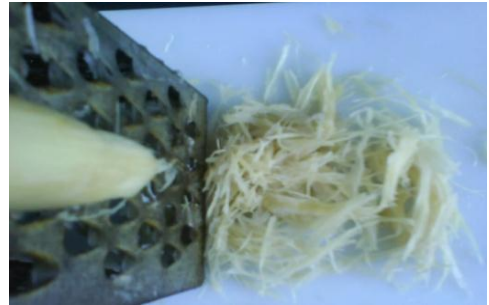
**Figura N° 33:** Raíz de *Sechium edule*



**Figura N° 34:** Pesado de raíz con epidermis



**Figura N° 35:** Pesado de raíz sin epidermis



**Figura N° 36:** Rayado de Raíz



**Figura N° 37:** Macerado de raíz



**Figura N° 38:** Obtención de almidón sin modificar de raíz de *Sechium edule*



**Figura N° 39:** Obtención de almidón pregelatinizado de raíz de *Sechium edule*



**Figura N° 40:** Almidón sin modificar y pregelatinizado de raíz de *Sechium edule* y almidón comercial Starch 1500®



**Figura N° 41:** Determinación de materia seca de la raíz de *Sechium edule*



**Figura N° 42:** Prueba de Viscosidad realizada en la Estación experimental y práctica de la Facultad de Ciencias Agronómicas



**Figura N° 43:** Prueba de Índice de hinchamiento



**Figura N° 44:** Determinación de la Temperatura de gelatinización



**Figura N° 45:** Determinación de la Capacidad de retención de agua



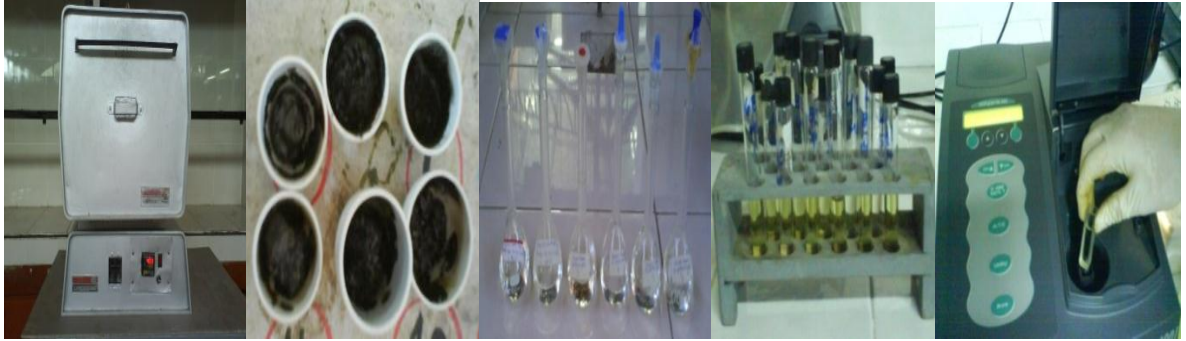
**Figura N° 46:** Determinación de Sustancias solubles



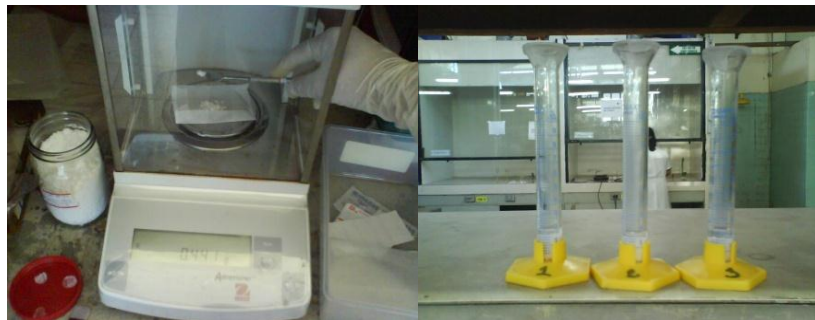
**Figura N° 47:** Prueba de Acidez titulable



**Figura N° 48:** Prueba de Pérdida por secado



**Figura N° 49:** Prueba de Valoración de fosfatos



**Figura N° 50:** Prueba de Densidad verdadera, Densidad Global y Porosidad

**ANEXO N° 8**  
**LISTADO DE MATERIALES, EQUIPO, REACTIVOS Y MATERIAS**  
**PRIMAS**

## LISTADO DE MATERIALES, EQUIPO, REACTIVOS Y MATERIAS PRIMAS

### Materiales

- Agitadores de vidrio
- Aro metálico
- Balones volumétricos de 10.0, 25.0, 50.0 ,100.0 y 500.0 mL
- Baño maría
- Beaker de 30,50,250,600 mL
- Bureta de 25.0 y 50.0 mL
- Cápsulas de porcelana
- Hot- Plate
- Crisoles
- Embudo
- Erlenmeyer de 125, 250 mL
- Goteros
- Gradilla
- Hot plate
- Magnetos
- Malla de asbesto
- Mechero
- Microespatula
- Mortero
- Perilla para pipeta
- Pinza de extensión y sostén
- Pinza para bureta
- Pinza para crisol
- Pipetas Volumétricas 2.0 y 5.0 mL
- Pistilo
- Pizeta
- Probetas de 10, 25, 50 y 100 mL
- Soporte
- Termómetros
- Triángulo
- Tripode
- Tubos de ensayo
- Vidrios de reloj

## Equipo

- Balanza granataria
- Balanza semianalítica
- Centrifugadora LW Scientifici
- Desecador
- Espectrofotómetro Genesys 20  
Thermo Spectronic Visible
- Estufa
- Mufla Lindberg® SB
- Viscosímetro brookfield RV-DVE

## Reactivos

- Acido clorhídrico concentrado
- Acido ftálico
- Ácido sulfúrico concentrado
- Agua destilada
- Agua libre de CO<sub>2</sub>
- Alcohol etílico 95 °
- Alcohol isobutilico
- Alcohol metílico 99.5%
- Biftalato de potasio (s)
- Cloruro de potasio 0.33 M
- Estándares de fósforo de 4,8,12,16  
ppm
- Fenolftaleína TS
- Hidróxido de potasio 0.1 M TS
- Hidróxido de sodio 0.1N TS
- Molibdato de amonio 5%
- Solución concentrada de fósforo 80  
ppm
- Vanadato de amonio 0.25%
- Vanadato- molibdico 0.25%
- Yoduro de potasio TS

### **Materias primas**

- Almidón de raíz de ***Sechium edule*** sin modificar
- Almidón de raíz de ***Sechium edule*** pregelatinizado
- Almidón comercial Starch 1500®

**ANEXO N° 9**  
**PREPARACIÓN DE REACTIVOS Y SOLUCIONES PARA LA**  
**REALIZACIÓN DEL ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO**

## PREPARACIÓN DE REACTIVOS PARA LAS DIFERENTES PRUEBAS FISICOQUÍMICAS

### PREPARACIÓN DE REACTIVOS PARA ACIDEZ TITULABLE

#### - Hidróxido de sodio 0.1 N VS <sup>(21)</sup>

Disolver 4 g de perlas de hidróxido de sodio en 200 mL de agua destilada libre de dióxido de carbono sobre un baño de hielo, luego transferir a un balón volumétrico de 1000.0 mL y llevar a volumen usando agua libre de dióxido de carbono a temperatura ambiente, homogenizar y envasar en frasco de plástico.

Seguidamente estandarizar:

Pesar 0.25 g de biftalato de potasio previamente secado a 120°C por 2 horas, luego disolver en 3.8 mL de agua libre de dióxido de carbono. Agregar 2 gotas de fenolftaleína TS y titular con la solución de hidróxido de sodio 0.1 N hasta la producción de un color rosado permanente.

Datos

Pesos de biftalato de potasio

P1= 0.249 g

P2= 0.250 g

P3= 0.251 g

Volumen gastado de solución de hidróxido de sodio 0.1 N

V1= 12.2 mL

V2= 12.1 mL

V3= 12.4 mL

Cálculo:

$$N = \frac{\text{Peso estandar primario (St 1)}}{\text{Vgastado NaOH 0.1N x Meq St 1}}$$

### Repetición 1

$$N = \frac{0.249 \text{ g}}{(12.2 \text{ mL})(0.2042)} = 0.099$$

### Repetición 2

$$N = \frac{0.250 \text{ g}}{(12.1 \text{ mL})(0.2042)} = 0.101$$

### Repetición 3

$$N = \frac{0.251 \text{ g}}{(12.4 \text{ mL})(0.2042)} = 0.099$$

$$N \text{ real} = \frac{0.099 + 0.101 + 0.099}{3} = 0.099 \text{ N}$$

### Factor de corrección

$$FC = \frac{N \text{ real}}{N \text{ teórica}} = \frac{0.099 \text{ N}}{0.1 \text{ N}} = 0.99$$

### - Fenolftaleína TS

Disolver 1 gramo de fenolftaleína en 100 mL de alcohol.

## PREPARACIÓN DE REACTIVOS PARA VALORACIÓN DE FOSFATOS

### - Preparación de solución concentrada de fósforo 80 µg/mL (ppm)

Disolver 0.0175 gramos de fosforo monopotásico reactivo analítico (previamente secado sobre ácido sulfúrico hasta peso constante) en 15 mL de

agua destilada. Agregar 0.5mL de ácido sulfúrico 10N. Enfriar y diluir a 50.0 mL con agua destilada en balón volumétrico.

Cálculo:

Gramos de fosforo monopotásico

0.35g de fósforo \_\_\_\_ 1000.0mL de agua destilada

X \_\_\_\_ 50.0 mL de agua destilada

X= 0.0175g de fósforo

Volumen de Acido sulfúrico a utilizar

0.35g de fósforo \_\_\_\_ 10mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

0.0175g de fosfato \_\_\_\_ X

X= 0.5 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

**- Preparación de estándares de fósforo (4, 8, 12 y 16 ppm)**

Ecuación para encontrar el volumen a tomar de solución concentrada de fosforo:

$$V_1 = \frac{C_2 * V_2}{C_1}$$

Volúmenes de solución concentrada de fósforo	µg de fósforo por mL de solución (ppm)
0.0	0
1.25	4
2.5	8
3.75	12
5.0	16

Procedimiento:

Colocar en bureta la solución concentrada de fósforo 80  $\mu\text{g/mL}$ . Adicionar en balones volumétricos de 25.0 mL los volúmenes de la solución concentrada de fósforo 80  $\mu\text{g/mL}$  que se indica en la tabla anterior. Agregar 1.0 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  10N y aforar a volumen con agua destilada.

- **Preparación de reactivo vanadato- molibdico 0.25%**

Mezclar volúmenes iguales de las soluciones de molibdato de amonio 5% y vanadato de amonio 0.25%. Filtrar y usar el mismo día.

- **Preparación de molibdato de amonio 5%** (21)

Pesar 1.25 g. de molibdato de amonio y disolver en beaker con agua destilada caliente. Agitar. Dejar enfriar. Llevar a volumen en balón volumétrico de 25.0 mL.

Cálculo:

$$\begin{array}{r} 5.0 \text{ g de molibdato de amonio} \quad \text{---} \quad 100.0 \text{ mL de agua destilada} \\ X \quad \text{---} \quad 25.0 \text{ mL de agua destilada} \\ X = 1.25 \text{ g de molibdato de amonio} \end{array}$$

- **Preparación de vanadato de amonio 0.25%** (21)

Disolver 0.0625g de vanadato de amonio en 12.5 mL de agua destilada hirviendo. Enfriar y agregar 8.75 mL de ácido nítrico concentrado. Enfriar en baño de hielo y llevar a volumen de 25.0 mL en balón volumétrico.

Cálculo:

0.25 g Vanadato de amonio \_\_\_\_\_ 100 mL solución

X \_\_\_\_\_ 25 mL solución

$$X = 0.0625 \text{ g de Vanadato de amonio}$$

0.25 g Vanadato de amonio \_\_\_\_\_ 50 mL agua destilada caliente

0.065 g de Vanadato de amonio \_\_\_\_\_ X

$$X = 12.5 \text{ mL de agua destilada caliente}$$

0.25 g Vanadato de amonio \_\_\_\_\_ 35 mL ácido nítrico concentrado

0.065 g de Vanadato de amonio \_\_\_\_\_ X

$$X = 8.75 \text{ mL de ácido nítrico concentrado}$$

- **Preparación de ácido sulfúrico 10 N (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10N)** <sup>(11)</sup>

Medir con bureta 27.4 mL de ácido sulfúrico al 97% p/p de pureza y densidad de 1.84 g/mL, colocar en un beaker de 100 mL aproximadamente 50 mL de agua destilada fría y agregar el ácido lentamente con agitación constante en cámara extractora de gases. Transferir a un balón volumétrico de 100.0 mL y completar volumen, finalmente envasar.

**PREPARACIÓN DE REACTIVOS PARA PRUEBA DE VISCOSIDAD** <sup>(21)</sup>

- **Hidróxido de potasio (KOH) 0.1 M TS**

Pesar con cuidado 2.8055 g de Hidróxido de potasio en lentejas (hacerlo rápido ya que es higroscópico) en un beaker plástico, colocar aproximadamente 300

mL de agua destilada libre de dióxido de carbono, disolver completamente el hidróxido de potasio y transferir la solución haciendo lavados continuos al beaker que contiene lo disuelto, a un balón volumétrico de 500 mL, luego aforar y envasar.

- **Cloruro de potasio (KCl) 0.33 M** <sup>(11)</sup>

Pesar con cuidado 12.302g de cloruro de potasio puro, en un beaker adecuado, agregar suficiente agua destilada hasta disolver la sal, luego transferir a un balón volumétrico de 500.0 mL, lavar el beaker con agua destilada para arrastrar los residuos, aforar y envasar.

Cálculo:

$$74.56 \text{ g de KCl} \quad \text{_____} \quad 1 \text{ M} \quad \text{_____} \quad 1000 \text{ mL}$$

$$X \quad \text{_____} \quad 0.33 \text{ M} \quad \text{_____} \quad 1000 \text{ mL}$$

$$X = 24.604 \text{ g KCl}$$

$$24.604 \text{ g KCl} \quad \text{_____} \quad 1000 \text{ mL solución}$$

$$X = \text{_____} \quad 500 \text{ mL solución}$$

$$X = 12.302 \text{ g de KCl}$$

**ANEXO N° 10**  
**FORMULAS Y CÁLCULO PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS**  
**ALMIDONES**

## FÓRMULAS Y CÁLCULOS PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS ALMIDONES

### - Fórmulas:

#### - Desviación estándar

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

#### - Gran media

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^c \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}}{n}$$

#### - Variación total o suma de los cuadrados (SST)

$$SST = \sum_{j=1}^c \sum_{i=1}^{n_j} (X_{ij} - \bar{X})^2$$

#### - Variación entre grupos (SSB)

$$SSB = \sum_{j=1}^c n_j (\bar{X}_j - \bar{X})^2$$

#### - Variación dentro del grupos (SSW)

$$SSW = \sum_{j=1}^c \sum_{i=1}^{n_j} (X_{ij} - \bar{X}_j)^2$$

#### - Media cuadrada entre grupos (MSB)

$$MSB = \frac{SSB}{C - 1}$$

- **Media cuadrada dentro del grupo (MSW)**

$$MSW = \frac{SSW}{n - C}$$

- **F experimental (F calculada)**

$$F_{(c - 1), (n - C)} = \frac{MSB}{MSW}$$

- **F de tabla**

$$F_{\alpha, (c-1), (n-c)}$$

- **Rango crítico (RC)**

$$RC = Q_{\alpha, c, n - c} \sqrt{\frac{MSW}{n_j}}$$

- **Medias absolutas**

Diferencias absolutas entre las medias muestrales	Almidón comercial Starch 1500® (XC)	Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> pregelatinizado (XB)	Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> no modificado (XA)
Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> no modificado (XA)	$ \bar{X}_A - \bar{X}_C  *$	$ \bar{X}_A - \bar{X}_B  *$	0
Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> pregelatinizado (XB)	$ \bar{X}_B - \bar{X}_C  *$	0	-
Almidón comercial Starch 1500® (XC)	0	-	-

\*Análisis estadístico con un nivel de significancia de 0.05

- **Ejemplo de cálculos estadísticos para la prueba de Índice de hinchamiento:**

Formula:

$$\text{Índice de hinchamiento} = \frac{\text{Volumen de agua absorbida}}{\text{Volumen de la sustancia que absorbe}} \times 100$$

**Para almidón A, repetición 1**

$$\text{Índice de hinchamiento} = \frac{2.1 \text{ mL}}{1.6 \text{ mL}} \times 100$$

$$\text{Índice de hinchamiento} = 131.25 \quad 131.3\%$$

**Tabla N° 9:** Resultados del análisis fisicoquímico de Índice de hinchamiento realizada a los tres tipos de almidones.

Tipo de almidón	Nº de repetición	Volumen de almidón (mL)	Volumen de agua Absorbida(mL)	Índice de Hinchamiento (%)
Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> no modificado (A)	1	1.6	2.1	131.3
	2	1.6	1.9	118.8
	3	1.7	2.1	123.5
Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> pregelatinizado (B)	1	1.5	3.9	260.0
	2	1.4	3.9	278.6
	3	1.4	3.8	271.4
Almidón comercial Starch 1500®(C)	1	1.3	4.0	307.7
	2	1.3	4.4	338.5
	3	1.2	4.2	350.0

**Cálculo para la media ( $\bar{X}$ )**

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

Almidón A	Almidón B	Almidón C
131.3	260.0	307.7
118.8	278.6	338.5
123.5	271.4	350.0
$\Sigma=373.6$	$\Sigma=810$	$\Sigma=996.2$
$\bar{X}=124.53$	$\bar{X}=270$	$\bar{X}=332.07$

**Cálculo para Desviación estándar(S)**

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Almidón A	Almidón B	Almidón C
$(131.3-124.53)^2$	$(260.0-270)^2$	$(307.7-332.07)^2$
$(118.8-124.53)^2$	$(278.6-270)^2$	$(338.5-332.07)^2$
$(123.5-124.53)^2$	$(271.4-270)^2$	$(350.0-332.07)^2$
$\Sigma=79.7267$	$\Sigma=175.92$	$\Sigma=956.7267$
S= 6.3137	S= 9.3787	S= 21.871

**Tabla N° 10:** Resultados de la media y desviación estándar de los tres tipos de almidones estudiados en la prueba de Índice de hinchamiento.

Muestra de Almidón	Número de mediciones	Promedio IH (%)	Desviación Estándar (s)
(A)	3	124.53	6.3137
(B)	3	270.00	9.3787
(C)	3	332.07	21.8715

- **Cálculo para Gran media**

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^c \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}}{n}$$

$$\bar{X} = \frac{2,179.8}{9} = 242.2$$

- **Variación total o suma de los cuadrados (SST)**

$$SST = \sum_{j=1}^c \sum_{i=1}^{n_j} (X_{ij} - \bar{X})^2$$

<b>Almidón A</b>	<b>Almidón B</b>	<b>Almidón C</b>
$(131.3-242.2)^2$	$(260.0-242.2)^2$	$(307.7-242.2)^2$
$(118.8-242.2)^2$	$(278.6-242.2)^2$	$(338.5-242.2)^2$
$(123.5-242.2)^2$	$(271.4-242.2)^2$	$(350.0-242.2)^2$
<hr/>	<hr/>	<hr/>
$\Sigma=41,616.06$	$\Sigma=2,494.44$	$\Sigma=25,184.78$

$$SST = (41,616.06 + 2,494.44 + 25,184.78) = 69,295.28$$

- **Variación entre grupos (SSB)**

$$SSB = \sum_{j=1}^c n_j (\bar{X}_j - \bar{X})^2$$

$$SSB = 3(124.53-242.2)^2 + 3(270-242.2)^2 + 3(332.07-242.2)^2$$

$$SSB = 68,087.0574$$

- **Variación dentro del grupos (SSW)**

$$SSW = \sum_{j=1}^c \sum_{i=1}^{n_j} (X_{ij} - \bar{X}_j)^2$$

$$SSW = (79.7267) + (175.92) + (956.7267)$$

$$SSW = 1,212.3734$$

**Distribución F (Varianza)**

- **Media cuadrada entre grupos (MSB)**

$$MSB = \frac{SSB}{C - 1}$$

$$MSB = \frac{68,087.0574}{2} = 34,043.5287$$

- **Media cuadrada dentro del grupo (MSW)**

$$MSW = \frac{SSW}{n - C}$$

$$MSW = \frac{1,212.3734}{6} = 202.0622$$

- **F experimental (F calculada)**

$$F_{(c-1), (n-C)} = \frac{MSB}{MSW}$$

$$F = \frac{34,043.5287}{202.0622} = 168.4804$$

- **F de tabla 0.05**

$$F \alpha, (c-1), (n-c)$$

Donde:

(C-1): grados de libertad del numerador

(n-C): grados de libertad del denominador

$$F_{0.05, 2, 6} = 5.143$$

- **Rango crítico (RC)**

En tabla T de tukey buscar  $Q_{0.05}$

Donde:

n: numero de tratamientos

n-C: grados de libertad del error

$$RC = Q_{\alpha, c, n - c} \sqrt{\frac{MSW}{n_j}}$$

$$RC = Q_{0.05, 3, 6} \sqrt{\frac{202.0622}{3}}$$

$$RC = 4.34 \sqrt{\frac{202.0622}{3}} = 35.6182$$

**Tabla N° 11:** Resultados de análisis estadístico ANOVA para prueba de índice de hinchamiento

Fuente	Grados de libertad(GI)	Suma de cuadrados(SS)	Media cuadrada(varianza)	F experimental	F tabla
Entre grupos	2	68,087.06	34,043.53	168.480	5.143
Dentro del grupo	6	1,212.37	202.06	-	-
Total	8	69,299.43	-	-	-

**Tabla N° 12:** Resultados de las diferencias absolutas empleando el método

de comparaciones múltiples T de Tukey, en la prueba de Índice de hinchamiento a un nivel de confianza de 0.05\*

Diferencias absolutas entre las medias muestrales	Almidón comercial Starch 1500® (C)	Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> pregelatinizado (B)	Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> no modificado (A)
Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> no modificado (A)	207.54*	145.47*	0
Almidón de raíz de <i>Sechium edule</i> pregelatinizado (B)	62.07*	0	-
Almidón comercial Starch 1500® (C)	0	-	-

(\*) indica que el valor de las diferencias absolutas entre las medias muestrales de los almidones es mayor al valor de rango crítico, confirmando que sí existe diferencia significativa entre ellos a un nivel de significancia de 0.05

**ANEXO N° 11**  
**TABLA DE DISTRIBUCIÓN F PARA EL ANÁLISIS ANOVA**

# TABLA DE DISTRIBUCIÓN F PARA EL ANÁLISIS ANOVA

Cátedra: Probabilidad y Estadística  
Facultad Regional Mendoza  
UTN

Tabla D.9: VALORES CRÍTICOS DE LA DISTRIBUCIÓN F (0,05)

área a la derecha del Numerador = 0,05

g.d.l	Grados de libertad del Numerador															g.d.l
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	236,8	238,9	240,5	241,9	243,0	243,9	244,7	245,4	245,9	1
2	18,513	19,000	19,164	19,247	19,296	19,330	19,355	19,371	19,385	19,396	19,405	19,413	19,419	19,424	19,429	2
3	10,128	9,352	9,277	9,117	9,013	8,941	8,887	8,845	8,812	8,786	8,763	8,745	8,729	8,715	8,703	3
4	7,709	6,944	6,991	6,368	6,236	6,163	6,094	6,041	5,999	5,964	5,936	5,912	5,891	5,873	5,858	4
5	6,608	5,786	5,409	5,192	5,050	4,977	4,876	4,818	4,772	4,735	4,704	4,678	4,655	4,636	4,619	5
6	5,987	5,143	4,757	4,534	4,387	4,284	4,207	4,147	4,099	4,060	4,027	4,000	3,976	3,956	3,938	6
7	5,591	4,737	4,347	4,120	3,972	3,866	3,787	3,726	3,677	3,637	3,603	3,575	3,550	3,529	3,511	7
8	5,318	4,459	4,066	3,838	3,687	3,581	3,500	3,438	3,388	3,347	3,313	3,284	3,259	3,237	3,218	8
9	5,117	4,256	3,863	3,633	3,482	3,374	3,293	3,230	3,179	3,137	3,102	3,073	3,048	3,025	3,006	9
10	4,965	4,103	3,708	3,478	3,326	3,217	3,135	3,072	3,020	2,978	2,943	2,913	2,887	2,865	2,845	10
11	4,844	3,982	3,587	3,357	3,204	3,095	3,012	2,948	2,896	2,854	2,818	2,788	2,761	2,739	2,719	11
12	4,747	3,885	3,490	3,259	3,106	2,996	2,913	2,849	2,796	2,753	2,717	2,687	2,660	2,637	2,617	12
13	4,667	3,806	3,411	3,179	3,025	2,915	2,832	2,767	2,714	2,671	2,635	2,604	2,577	2,554	2,533	13
14	4,600	3,739	3,344	3,112	2,958	2,848	2,764	2,699	2,646	2,602	2,565	2,534	2,507	2,484	2,463	14
15	4,543	3,682	3,287	3,056	2,901	2,790	2,707	2,641	2,588	2,544	2,507	2,475	2,448	2,424	2,403	15
16	4,494	3,634	3,239	3,007	2,852	2,741	2,657	2,591	2,538	2,494	2,456	2,425	2,397	2,373	2,352	16
17	4,451	3,591	3,196	2,964	2,809	2,698	2,614	2,548	2,494	2,450	2,413	2,381	2,353	2,329	2,308	17
18	4,414	3,555	3,160	2,928	2,773	2,661	2,577	2,510	2,456	2,412	2,374	2,342	2,314	2,290	2,269	18
19	4,381	3,522	3,127	2,895	2,740	2,628	2,544	2,477	2,423	2,378	2,340	2,308	2,280	2,256	2,234	19
20	4,351	3,493	3,098	2,866	2,711	2,599	2,514	2,447	2,393	2,348	2,310	2,278	2,250	2,225	2,203	20
21	4,325	3,467	3,072	2,840	2,685	2,573	2,488	2,420	2,366	2,321	2,283	2,250	2,222	2,197	2,176	21
22	4,301	3,443	3,048	2,817	2,661	2,549	2,464	2,397	2,342	2,297	2,259	2,226	2,198	2,173	2,151	22
23	4,279	3,422	3,027	2,796	2,640	2,528	2,442	2,375	2,320	2,275	2,236	2,203	2,175	2,150	2,128	23
24	4,260	3,403	3,009	2,776	2,620	2,508	2,422	2,355	2,300	2,255	2,216	2,183	2,155	2,130	2,108	24
25	4,242	3,385	2,991	2,759	2,603	2,490	2,405	2,337	2,282	2,236	2,198	2,165	2,136	2,111	2,089	25
26	4,225	3,369	2,975	2,743	2,587	2,474	2,388	2,321	2,265	2,220	2,181	2,148	2,119	2,094	2,072	26
27	4,210	3,354	2,960	2,728	2,572	2,459	2,373	2,305	2,250	2,204	2,166	2,132	2,103	2,078	2,056	27
28	4,196	3,340	2,947	2,714	2,558	2,445	2,359	2,291	2,236	2,190	2,151	2,118	2,089	2,064	2,041	28
29	4,183	3,328	2,934	2,701	2,545	2,432	2,346	2,278	2,223	2,177	2,138	2,104	2,075	2,050	2,027	29
30	4,171	3,316	2,922	2,689	2,533	2,420	2,334	2,266	2,211	2,165	2,126	2,092	2,063	2,037	2,015	30
31	4,160	3,305	2,911	2,679	2,523	2,410	2,324	2,255	2,199	2,153	2,114	2,080	2,051	2,026	2,003	31
32	4,149	3,295	2,901	2,668	2,512	2,399	2,313	2,244	2,188	2,142	2,103	2,070	2,040	2,015	1,992	32
33	4,139	3,285	2,892	2,659	2,503	2,390	2,304	2,235	2,179	2,133	2,093	2,060	2,030	2,004	1,982	33
34	4,130	3,276	2,883	2,650	2,494	2,381	2,295	2,225	2,170	2,123	2,084	2,050	2,020	1,995	1,972	34
35	4,121	3,267	2,874	2,641	2,485	2,372	2,285	2,215	2,160	2,114	2,075	2,041	2,012	1,986	1,963	35
40	4,085	3,232	2,839	2,606	2,449	2,336	2,249	2,180	2,124	2,077	2,038	2,003	1,974	1,948	1,924	40
60	4,001	3,150	2,758	2,525	2,368	2,254	2,167	2,097	2,040	1,993	1,952	1,917	1,887	1,860	1,836	60
80	3,960	3,111	2,719	2,486	2,329	2,214	2,126	2,056	1,999	1,951	1,910	1,875	1,845	1,817	1,793	80
90	3,947	3,098	2,706	2,473	2,316	2,201	2,113	2,043	1,986	1,938	1,897	1,861	1,830	1,803	1,779	90
100	3,936	3,087	2,696	2,463	2,306	2,191	2,103	2,032	1,975	1,927	1,886	1,850	1,819	1,792	1,768	100
120	3,920	3,072	2,680	2,447	2,290	2,175	2,087	2,016	1,959	1,910	1,869	1,834	1,803	1,775	1,750	120
inf.	3,841	2,996	2,605	2,372	2,214	2,099	2,010	1,938	1,880	1,831	1,789	1,752	1,720	1,692	1,666	inf.

**ANEXO N° 12**  
**TABLA T DE TUKEY AL 5% DE PROBABILIDAD**

## TABLA DE T DE TUKEY AL 5% DE PROBABILIDAD

Grados de libertad del error	Número de Tratamientos																			
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	17.97	26.98	32.82	37.08	40.41	43.12	45.4	47.36	49.07	50.59	51.96	53.2	54.33	55.36	56.32	57.22	58.04	58.83	59.56	
2	6.08	8.33	9.8	10.88	11.74	12.44	13.03	13.54	13.99	14.39	14.75	18.08	15.38	15.65	15.91	16.14	16.37	16.57	16.77	
3	4.5	5.91	6.82	7.5	8.04	8.48	8.85	9.18	9.46	9.72	9.95	10.15	10.35	10.53	10.69	10.84	10.98	11.11	11.24	
4	3.93	5.04	5.76	6.29	6.71	7.05	7.35	7.6	7.83	8.03	8.21	8.37	8.52	8.66	8.79	8.91	9.03	9.13	9.23	
5	3.64	4.6	5.22	5.67	6.03	6.33	6.58	6.8	6.99	7.17	7.32	7.47	7.6	7.72	7.83	7.93	8.03	8.12	8.21	
6	3.46	4.34	4.9	5.3	5.63	5.9	6.12	6.32	6.49	6.65	6.79	6.92	7.03	7.14	7.24	7.34	7.44	7.51	7.59	
7	3.34	4.16	4.68	5.06	5.36	5.61	5.82	5.82	6.16	6.3	6.43	6.55	6.66	6.76	6.85	6.94	7.02	7.1	7.17	
8	3.26	4.04	4.53	4.89	5.17	5.4	5.6	6	5.92	6.05	6.18	6.29	6.39	6.48	6.57	6.65	6.73	6.8	6.87	
9	3.2	3.95	4.41	4.76	5.02	5.24	5.43	5.77	5.74	5.87	5.98	6.09	6.19	6.28	6.36	6.44	6.51	6.58	6.64	
10	3.15	3.88	4.33	4.65	4.91	5.12	5.3	5.59	5.6	5.72	5.83	5.93	6.03	6.11	6.19	6.27	6.34	6.4	6.47	
11	3.11	3.82	4.26	4.57	4.82	5.03	5.2	5.46	5.49	5.61	5.71	5.81	5.9	5.98	6.06	6.13	6.2	6.27	6.33	
12	3.08	3.77	4.2	4.51	4.75	4.95	5.12	5.35	5.39	5.51	5.61	5.71	5.8	5.88	5.95	6.02	6.09	6.15	6.21	
13	3.06	3.73	4.15	4.45	4.69	4.88	5.05	5.27	5.32	5.43	5.53	5.63	5.71	5.79	5.86	5.93	5.99	6.05	6.11	
14	3.03	3.7	4.11	4.41	4.64	4.83	4.99	5.19	5.25	5.36	5.46	5.55	5.64	5.71	5.79	5.85	5.91	5.97	6.03	
15	3.01	3.67	4.08	4.37	4.59	4.78	4.94	5.08	5.2	5.31	5.4	5.49	5.57	5.65	5.72	5.78	5.85	5.9	5.96	
16	3	3.65	4.05	4.33	4.56	4.74	4.9	5.03	5.15	5.26	5.35	5.44	5.52	5.59	5.66	5.73	5.79	5.84	5.9	
17	2.98	3.63	4.02	4.3	4.52	4.7	4.86	4.99	5.11	5.21	5.31	5.39	5.47	5.54	5.61	5.67	5.73	5.79	5.84	
18	2.97	3.61	4	4.28	4.49	4.67	4.82	4.96	5.07	5.17	5.27	5.35	5.43	5.5	5.57	5.63	5.69	5.74	5.79	
19	2.96	3.59	3.98	4.25	4.47	4.65	4.79	4.92	5.04	5.14	5.23	5.31	5.39	5.46	5.53	5.59	5.65	5.7	5.75	
20	2.95	3.59	3.96	4.23	4.45	4.62	4.77	4.9	5.01	5.11	5.2	5.28	5.36	5.43	5.49	5.55	5.61	5.66	5.71	
24	2.92	3.53	3.9	4.17	4.37	4.54	4.68	4.81	4.92	5.01	5.1	5.18	5.25	5.32	5.38	5.44	5.49	5.55	5.59	
30	2.89	3.49	3.85	4.1	4.3	4.46	4.6	4.72	4.82	4.92	5	5.08	5.15	5.21	5.27	5.33	5.38	5.43	5.47	
40	2.86	3.44	3.79	4.04	4.23	4.39	4.52	4.63	4.73	4.82	4.9	4.98	5.04	5.11	5.16	5.22	5.27	5.31	5.36	
60	2.83	3.4	3.74	3.98	4.16	4.31	4.44	4.55	4.65	4.73	4.81	4.88	4.94	5	5.06	5.11	5.15	5.2	5.24	
120	2.8	3.36	3.68	3.92	4.1	4.24	4.36	4.47	4.56	4.64	4.71	4.78	4.94	4.9	4.95	5	5.04	5.09	5.13	
Inf	2.77	3.31	3.63	3.86	4.03	4.17	4.29	4.39	4.47	4.55	4.62	4.68	4.74	4.8	4.85	4.89	4.93	4.97	5.01	

**ANEXO N° 13**  
**USO Y ESPECIFICACIONES DEL VISCOSÍMETRO**  
**BROOKFIELD RV-DVE**

## USO Y ESPECIFICACIONES DEL VISCOSÍMETRO BROOKFIELD RV-DVE <sup>(6)</sup>

1. Calibrar o estabilizar el equipo asegurándose que la marca de agua este en el centro, lo que se logra al girar las piezas ubicadas en las tres bases del equipo
2. Conectar el equipo(no exponerlo a una fuente de Voltaje mayor a 115V~)
3. Encender el quipo
4. Retirar la pieza que protege el dispositivo que contendrá el spindle
5. Seleccionar el spindle a utilizar
6. Sumergir el spindle de manera inclinada sobre el fluido para evitar la formación de burbujas y colocarlo en el dispositivo girando a la izquierda
7. Bajar el viscosímetro a modo que el spindle esté hasta la marca de inmersión
8. Seleccionar la velocidad en revoluciones por minuto(rpm)
9. Presionar el botón **motor on**
10. Anotar viscosidad hasta que el dato se mantenga constante y este no aparezca intermiten

**ANEXO N° 14**  
**USO Y ESPECIFICACIONES DEL THERMO SPECTRONIC**  
**GÉNESIS 20**

## **USO Y ESPECIFICACIONES DEL THERMO SPECTRONIC GÉNESIS 20 <sup>(16)</sup>**

### **Manejo del equipo Thermo Spectronic Génesis 20**

Longitud de onda: 420 nm

1. Precalentar el equipo mínimo 15 minutos antes de su uso
2. Establecer la longitud de onda ( $\lambda$ ) a 420nm
3. Fijar el 0% de transmitancia
4. Pasar a modo absorbancia para que registre ese dato
5. Colocar el estándar 0 en la celda y fijar 0 de absorbancia
6. Lavar la celda entre cada lectura con la solución a leer, procediendo a la correspondiente medición de la muestra
7. Anotar la lectura
8. Leer los estándares

**ANEXO N° 15**  
**CERTIFICADO DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO**  
**DE STARCH 1500®**

# CERTIFICADO DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE STARCH 1500®



Product Name: STARCH 1500 PARTIALLY PREGELATINIZED MAIZE STARCH  
 Product Number: 2002  
 Material Description: White Powder  
 Lot No: INS14661

Ship To: Americhem Pharmaceutical Corp. US  
 Bill To: Americhem Pharmaceutical Corp. US

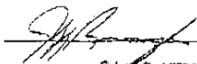


Compliance Statement: This Product meets all agreed upon specifications

Test	Method	Specifications		Result	Analyst
		Minimum	Maximum		
COLD WATER SOLUBLES AVERAGE, %	INDY-QAC-TM-5382	10.0	20.0	12.5 %	JR
IDENTIFICATION PH EUR	PH EUR	POSITIVE		POSITIVE	AT
IDENTIFICATION USP/NF	USP/NF	POSITIVE		POSITIVE	BD
IRON, %	USP/NF	NMT 0.001		NMT 0.001 %	JR
LOSS ON DRYING AVERAGE, %	INDY-QAC-TM-5384	0.00	14.00	5.70 %	JR
FOREIGN MATTER	PH EUR	CONFORMS		CONFORMS	AT
MICRO AEROBIC FER. CFU	INDY-QAC-TM-6374	0	100	<10 CFU	AT
MICRO COAGULASE-POS. STAPH	INDY-QAC-TM-6376	ABSENT		ABSENT	AT
MICRO E. COLI	INDY-QAC-TM-6378	ABSENT		ABSENT	AT
MICRO MAM. CFU	INDY-QAC-TM-6374	0	100	<10 CFU	AT
MICRO P. AERUGINOSA	INDY-QAC-TM-6369	ABSENT		ABSENT	AT
MICRO SALMONELLA	INDY-QAC-TM-6371	ABSENT		ABSENT	AT
OXIDIZING SUBSTANCES	USP/NF	NEGATIVE		NEGATIVE	BD
PH	USP/NF	4.5	7.0	5.7	BD
PROTEIN, %	POC	< 0.05		GM	N/A
PARTICLE SIZE RETAINED ON 8 MESH, %	INDY-QAC-TM-5385	0.0	0.0	0.0 %	NE
PARTICLE SIZE RETAINED ON 40 MESH, %	INDY-QAC-TM-5389	0.0	0.5	0.0 %	JR
PARTICLE SIZE THROUGH 100 MESH, %	INDY-QAC-TM-5229	90.0	100.0	92.4 %	JR

*This Product was manufactured in a facility that is registered with the United States FDA under the provisions of the Bioterrorism Preparedness and Response Act.*

*The information contained in this document is proprietary to Colorcon, Inc. and may not be used or disseminated inappropriately.*

Manufactured By: COLORCON Date Of Manufacture: 20-MAY-2008  
 Manufacturing Site: INDIANAPOLIS, IN, United States Re-evaluation Date: 19-MAY-2012  
 Approved By:  Date: 19-JUL-2008  
 Title: JANE AUDITOR



Certificate of Analysis

Product Name: STARCH 1500 PARTIALLY PREGELATINIZED MAIZE STARCH  
 Product Number: 2001  
 Material Description: White Powder  
 Lot No: IN514661

Ship To: Americhem Pharmaceutical Corp. US  
 Bill To: Americhem Pharmaceutical Corp. US



Compliance Statement: This Product meets all agreed upon specifications

Test	Method	Specifications		Result	Analyst
		Minimum	Maximum		
PARTICLE SIZE THROUGH 270 MESH, %	INDY-QAC-PM-5389	25.0	100.0	49.8 %	JH
RESIDUE ON IGNITION, %	USP/NF	0.0	0.5	0.2 %	JH
SULPHUR DIOXIDE, %	USP/NF	NMT 0.005		NMT 0.005 %	BD

Meets all specifications of Pregelatinized Starch, Current NF / Current PhEur. Colorcon warrants Starch 1500 partially pregelatinized maize starch to meet current NF and PhEur Requirements for Pregelatinized Starch. Colorcon supports this claim through method equivalency studies between the NF methods and PhEur methods and quarterly audit testing for all the PhEur requirements.

This product is produced using identity preserved, non genetically enhanced maize. The identity preservation process includes: grower certification of the origin of the seeds planted, documentation of storage and handling of grain, and PCR testing of grain delivered to the raw material supplier's plant. The raw material supplier's plant only accepts identity preserved maize.

This product meets ICH Q3C and current USP/NF requirements for Organic Volatile Impurities.

GM: Manufacturer guarantees compliance based on process knowledge and audit testing.

This Product was manufactured in a facility that is registered with the United States FDA under the provisions of the Bioterrorism Preparedness and Response Act.

The information contained in this document is proprietary to Colorcon, Inc. and may not be used or disseminated inappropriately.

Manufactured By: COLORCON Date Of Manufacture: 20-MAY-2006  
 Manufacturing Site: INDIANAPOLIS, IN, United States Re-evaluation Date: 19-MAY-2012  
 Approved By: Date: 17-JUL-2008  
 Title: QA/QC AUDITOR

