

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**“SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN ALMIDÓN  
MODIFICADO DE PAPA (*Solanum tuberosum*), (Var. Única) PARA SU  
APLICACIÓN EN UN HELADO *SOFT*”**

**Presentado por:**

**GUINO ALVARO KELVIN VARGAS NINA**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN INDUSTRIAS  
ALIMENTARIAS**

**Lima – Perú**

**2015**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA**

**MOLINA**

**FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**“SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN ALMIDÓN  
MODIFICADO DE PAPA (*Solanum tuberosum*) (Var. Única) PARA SU  
APLICACIÓN EN UN HELADO *SOFT*”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN INDUSTRIAS  
ALIMENTARIAS**

**Presentado por:**

**GUINO ALVARO KELVIN VARGAS NINA**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

.....  
**M. Sc. Walter F. Salas Valerio  
PRESIDENTE**

.....  
**M. Sc. Gladys Tarazona de Rodríguez  
MIEMBRO**

.....  
**M. Sc. Fanny E. Ludeña Urquiza  
MIEMBRO**

.....  
**Dra. Carmen Velezmoro Sánchez  
ASESORA**

.....  
**Ing. Mirtha P. Martínez Tapia  
CO-ASESORA**

**Lima – Perú  
2015**

## AGRADECIMIENTO

*“Un agradecimiento especial a mis patrocinadores  
Dra. Carmen Velezmoro e Ing. Patricia Martínez,  
por sus consejos y el apoyo incondicional del día a día,  
a cada uno de mis jurados de mi trabajo por sus valiosos aportes  
y a mis padres Abdón Vargas y Alicia Nina  
por todo el apoyo que siempre me han brindado”*

## DEDICATORIA

*“Dedicado para mis padres Abdón Vargas y Alicia Nina,  
quienes con su ejemplo, palabras de aliento y esfuerzo,  
nunca bajaron los brazos para que yo tampoco lo haga,  
aún cuando todo se complicaba”*

## Índice

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II.</b>	<b>REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1</b>	<b>Papa .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1.1</b>	<b>Papa variedad Única .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2</b>	<b>Almidón .....</b>	<b>7</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Almidón de papa.....</b>	<b>9</b>
<b>2.3</b>	<b>Propiedades funcionales del almidón.....</b>	<b>10</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Hinchamiento del gránulo.....</b>	<b>10</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Gelatinización .....</b>	<b>11</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Gelificación.....</b>	<b>12</b>
<b>2.3.4</b>	<b>Retrogradación .....</b>	<b>14</b>
<b>2.4</b>	<b>Modificación de almidón.....</b>	<b>15</b>
<b>2.5</b>	<b>Helados .....</b>	<b>24</b>
<b>2.5.1</b>	<b>Clasificación de los helados.....</b>	<b>24</b>
<b>2.5.2</b>	<b>Características funcionales de los helados .....</b>	<b>28</b>
<b>2.6</b>	<b>Diseño de mezclas .....</b>	<b>29</b>
<b>2.6.1</b>	<b><i>Simplex lattice:</i> .....</b>	<b>31</b>
<b>2.7</b>	<b>Optimización de múltiples respuestas .....</b>	<b>33</b>
<b>2.7.1</b>	<b>Método de la función deseabilidad.....</b>	<b>34</b>
<b>III.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>36</b>
<b>3.1</b>	<b>Lugar de ejecución .....</b>	<b>36</b>

3.2	Materiales y equipos.....	36
3.2.1	Materia Prima e insumos.....	36
3.2.2	Materiales.....	36
3.2.3	Equipos.....	37
3.2.4	Reactivos.....	37
3.3	Métodos de análisis físicos y químicos.....	37
3.3.1	Composición proximal.....	37
3.3.2	Claridad de geles de almidón.....	38
3.3.3	Estabilidad al congelamiento del almidón.....	38
3.3.4	Grupos acetilos y grado de sustitución del almidón modificado por acetilación.....	39
3.3.5	Viscosidad aparente del gel de almidón.....	39
3.3.6	Tamaño de partícula.....	40
3.3.7	<i>Overrun</i> del helado.....	40
3.3.8	Viscosidad aparente de la mezcla base de helado (MBH).....	40
3.3.9	Determinación de las constantes reológicas ( <i>n</i> y <i>K</i> ).....	40
3.3.10	Estabilidad de emulsión de la mezcla base de helado (MBH).....	41
3.3.11	Densidad relativa de la mezcla base de helado y el helado.....	41
3.3.12	Análisis sensorial del helado.....	41
3.3.13	Determinación del costo del helado <i>soft</i> .....	41
3.4	Metodología experimental.....	42
3.4.1	Extracción del almidón.....	42
3.4.2	Modificación del almidón por acetilación.....	44
3.4.3	Elaboración del helado tipo <i>soft</i> .....	45
3.4.4	Esquema experimental.....	48
a)	Etapa I: Caracterización del almidón nativo.....	48

b)	<b>Etapa II: Selección del almidón modificado con menor viscosidad aparente...</b>	<b>50</b>
c)	<b>Etapa III: Obtención de la cantidad adecuada de almidón modificado en un helado <i>soft</i> .....</b>	<b>50</b>
d)	<b>Etapa IV: Caracterización y Evaluación Sensorial del helado <i>soft</i> elaborado con almidón modificado .....</b>	<b>52</b>
e)	<b>Análisis estadísticos .....</b>	<b>53</b>
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>56</b>
<b>4.1</b>	<b>Caracterización del almidón extraído de papa (<i>Solanum tuberosum</i>) var. Única .....</b>	<b>56</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Composición proximal .....</b>	<b>56</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Caracterización funcional.....</b>	<b>58</b>
<b>4.2</b>	<b>Caracterización de los almidones de papa modificados por acetilación .....</b>	<b>60</b>
<b>4.3</b>	<b>Determinación de la cantidad adecuada de almidón modificado para su aplicación en un helado <i>soft</i> .....</b>	<b>68</b>
<b>4.3.1</b>	<b><i>Overrun</i> .....</b>	<b>69</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Viscosidad aparente de la mezcla base de helado <i>soft</i>.....</b>	<b>70</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Función deseabilidad para múltiples respuestas (viscosidad aparente y <i>overrun</i>).....</b>	<b>70</b>
<b>4.3.4</b>	<b>Densidad de los helados <i>soft</i> y reología de la mezcla base de los helados <i>soft</i>...</b>	<b>71</b>
<b>4.4</b>	<b>Caracterización del helado <i>soft</i> con la mezcla adecuada de almidón modificado y carboximetilcelulosa .....</b>	<b>75</b>
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>79</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>81</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>82</b>
<b>VIII.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>90</b>

## Índice de Cuadros

<b>Cuadro 1: Propiedades de gelatinización y formación de geles de almidones nativos</b>	<b>16</b>
<b>Cuadro 2: Rol de los almidones modificados en alimentos.....</b>	<b>17</b>
<b>Cuadro 3: Tipos de almidón modificado y su preparación .....</b>	<b>18</b>
<b>Cuadro 4: Tipos de modificación del almidón .....</b>	<b>20</b>
<b>Cuadro 5: Almidones usados por sector de aplicación .....</b>	<b>23</b>
<b>Cuadro 6: Funciones y limitaciones de los componentes más comunes en helados ....</b>	<b>25</b>
<b>Cuadro 7: Requisitos Físicoquímicos para Helados.....</b>	<b>27</b>
<b>Cuadro 8: Ejemplo de formulaciones de mezclas base de helado <i>soft</i>.....</b>	<b>28</b>
<b>Cuadro 9: Composición del helado <i>soft</i> .....</b>	<b>45</b>
<b>Cuadro 10: Fórmula base para helado <i>soft</i>.....</b>	<b>46</b>
<b>Cuadro 11: Formulaciones de helado <i>soft</i> con almidón modificado.....</b>	<b>48</b>
<b>Cuadro 12: Esquema experimental .....</b>	<b>49</b>
<b>Cuadro 13: Diseño de Bloques Completos al Azar para la viscosidad aparente, porcentaje de grupos acetilos y grado de sustitución.....</b>	<b>51</b>
<b>Cuadro 14: Límites permitidos de modificación por acetilación .....</b>	<b>51</b>
<b>Cuadro 15: Diseño experimental para el diseño de mezclas <i>simplex lattice</i> {2,4}.....</b>	<b>52</b>
<b>Cuadro 16: Diseño Completo al Azar para la densidad del helado <i>soft</i> y comportamiento reológico (<i>n</i>) de la mezcla base de helado <i>soft</i> .....</b>	<b>53</b>



<b>Cuadro 17: Características de una mezcla base de helado Comercial .....</b>	<b>54</b>
<b>Cuadro 18: Rendimiento de extracción de almidón de papa var. Única.....</b>	<b>56</b>
<b>Cuadro 19: Análisis proximal del almidón en base seca* .....</b>	<b>57</b>
<b>Cuadro 20: Caracterización del almidón .....</b>	<b>59</b>
<b>Cuadro 21: Diseños de Bloques Completos al Azar (DBCA) para la viscosidad aparente, porcentaje de grupos acetilos y grado de sustitución.....</b>	<b>62</b>
<b>Cuadro 22: Claridad de geles de almidón modificado .....</b>	<b>64</b>
<b>Cuadro 23: Resultados de Sinéresis .....</b>	<b>66</b>
<b>Cuadro 24: Análisis proximal del almidón modificado con 15 por ciento de anhídrido acético (% v/w de almidón) y almidón nativo de papa var. Única.....</b>	<b>67</b>
<b>Cuadro 25: Valores de <i>overrun</i> y viscosidad aparente del diseño de mezclas .....</b>	<b>68</b>
<b>Cuadro 26: Diseño Completo al Azar para la densidad del helado <i>soft</i> e índice de comportamiento reológico (<i>n</i>) de la mezcla base de helado <i>soft</i> .....</b>	<b>72</b>
<b>Cuadro 27: Resultados de los coeficientes del modelo de la ley de la potencias para las diferentes mezclas base de helado.....</b>	<b>73</b>
<b>Cuadro 28: Resultados de la caracterización del helado <i>soft</i> con mezcla adecuada de almidón modificado y carboximetilcelulosa.....</b>	<b>77</b>
<b>Cuadro 29: Evaluación sensorial del helado <i>soft</i>, con mezcla adecuada de almidón modificado y carboximetilcelulosa, mediante una escala Hedónica .....</b>	<b>77</b>
<b>.Cuadro 30: Costo de la mezcla base de helado <i>soft</i> con mezcla adecuada de almidón modificado y carboximetilcelulosa.....</b>	<b>78</b>

## Índice de Figuras

<b>Figura 1: Gránulos de diferentes almidones visto por microscopia de barrido electrónico: maíz normal, (b) maíz ceroso, (c) papa y (d) trigo .....</b>	<b>8</b>
<b>Figura 2: Representación esquemática de la amilosa (a) y la amilopectina (b).....</b>	<b>9</b>
<b>Figura 3: Gránulo de almidón de papa .....</b>	<b>11</b>
<b>Figura 4: Representación Esquemática de las propiedades de formación de pasta de almidón.....</b>	<b>13</b>
<b>Figura 5: Resultado de la red del gel en un enfriamiento lento y rápido .....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 6: Representación geométrica de un diseño de experimentos con mezclas .....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 7: Función de los exponentes para obtención de <math>d_i</math> (deseabilidad).....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 8: Flujo de operaciones de la extracción de almidón de papa.....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 9: Flujo de Operaciones de Modificación de almidón de Papa.....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 10: Flujo de Operaciones para la elaboración de un helado .....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 11: Papa var. Única y Almidón de papa var. Única.....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 12: Estabilidad al congelamiento de los almidones nativos.....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 13: Microscopia electrónica de los almidones nativos y modificados.....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 14: Estabilidad al congelamiento de los almidones modificados y su almidón nativo.....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 15: <i>Overrun</i> y viscosidad aparente vs porcentaje de almidón modificado en la mezcla de estabilizantes.....</b>	<b>71</b>
<b>Figura 16: Reogramas de los diferentes helados.....</b>	<b>74</b>

**Figura 17: Helado *soft* con mezcla de estabilizantes con cantidad adecuada de almidón modificado y carboximetilcelulosa ..... 75**

**Figura 18: Reogramas de la mezcla base de helado *soft* con mezcla adecuada de almidón modificado y carboximetilcelulosa ..... 76**

## Índice de Anexos

Anexo 1 Ficha de evaluación sensorial aplicada al helado soft.....	90
Anexo 2 Resultados y estadísticos, de la extracción y caracterización del almidón Única.....	91
Anexo 3 Resultados y estadísticos de la modificación de los almidones.....	96
Anexo 4 Resultados de las variables respuesta del diseño de mezclas.....	103
Anexo 5 Estadísticos del diseño de mezclas para la variable <i>overrun</i> .....	104
Anexo 6 Estadísticos del diseño de mezclas para la variable viscosidad aparente....	106
Anexo 7 Estadísticos de la función deseabilidad para múltiples respuestas.....	108
Anexo 8 Constantes reológicas ( $n$ , $K$ ) de las diferentes mezclas base de helado <i>soft</i> .	110
Anexo 9 Densidad de los helados <i>soft</i> (g/L).....	134
Anexo10 Resultados de la caracterización del helado con mezcla adecuada de almidón modificado y carboximetilcelulos.....	138

## RESUMEN

La papa (*Solanum tuberosum*) es una fuente de almidón importante que está subutilizada en el Perú, pues se importan principalmente los almidones de papa, pues no se ha logrado aún, que la industrialización de extracción de almidones sea un éxito. El presente trabajo tuvo como objetivo obtener, caracterizar y modificar, químicamente por acetilación, el almidón de una variedad comercial de papa, var. Única, y probar su aplicación para la elaboración de un helado *soft* de características similares a uno comercial, empleándose como insumo sustituto parcial de sólidos lácteos no grasos (SLNG), estabilizante y espesante. La extracción se realizó con agua y la modificación química se realizó por acetilación mediante anhídrido acético a diferentes niveles (% v/w de almidón). Se caracterizó el almidón nativo y almidón modificado: composición proximal, claridad en gel, viscosidad aparente y estabilidad al congelamiento, asimismo se midió el porcentaje de grupos acetilos (GA). El rendimiento de extracción fue 16,5 por ciento y la viscosidad aparente del almidón nativo de papa fue 25000,1 cP. Asimismo, se seleccionó el almidón modificado con 15 por ciento de acetilación para su aplicación en un helado *soft* por sus características funcionales. Para esta aplicación, se usó el diseño de mezclas *simplex lattice*, encontrando una mezcla de estabilizantes óptima de proporciones de 0,2375 de carboximetilcelulosa (0,08 por ciento de la mezcla base de helado) y 0,7625 por ciento de almidón modificado (2,28 por ciento de la mezcla base de helado) reemplazando el 2,28 por ciento de SLNG, este helado tuvo una aceptabilidad del 98 por ciento entre 96 consumidores, además los resultados de densidad de mezcla base de helado, densidad del helado, viscosidad aparente, *overrun*, estabilidad de emulsión, constantes reológicas de la mezcla base de helado, fueron similares a los reportados por diferentes autores.

Palabras clave: Papa, almidón nativo, almidón modificado, acetilación, helado *soft*.

## ABSTRACT

Potato (*Solanum tuberosum*) is a major source of starch that is underused in Peru, this is mainly imported, because industrialization of starch isolation is not achieved yet. This research aimed to isolate, characterize and modify, chemically by acetylation, starch isolated from a commercial potato, *Única* variety, also its application was tested for the development of a soft ice cream of characteristics similar to commercial one, for being used as a partial input and substitute of nonfat solids of milk (NFSM), stabilizer and thickener. Isolation was carried out with water by decantation and chemical modification was performed by acetylation with acetic anhydride at different levels (% v/w starch). Native starch and modified starch were characterized: proximate composition, gel clarity, apparent viscosity, stability to freezing and also the percentage of acetyl groups (GA) was measured. Isolation yield was 16,5 percent and apparent viscosity of the gels from native starch was 25000,1 cP. Also, modified starch with 15 percent acetylation was selected for its application in soft ice cream because of its functional properties. For this application, Simplex lattice mixtures design was used, the optimal mix of stabilizers found was a mixture of proportion the carboxymethylcellulose 0,2375 (0,08 percent of the soft ice cream mix basis) and 0,7625 percent modified starch (2,28 percent of the base mix ice) by replacing 2,28 percent of NFSM. This soft ice cream showed 98 percent acceptability among 96 consumers untrained, and the results of density based soft ice cream mixture, soft ice cream density, apparent viscosity, overrun, emulsion stability, rheological properties of the soft ice cream base mixture were similar to those reported by different authors.

Keywords: Potato, native starch, modified starch, acetylation, soft ice cream.

## I. INTRODUCCIÓN

Uno de los alimentos más consumidos en sus diversas formas, derivados, y presentaciones en el mundo es la papa, la cual se originó en los andes Peruanos. Actualmente en el Centro Internacional de la Papa (CIP) están registradas alrededor de 7 000 variedades de papa entre nativas, salvajes y mejoradas, donde 2000 de las 4200 variedades nativas se originaron en los andes peruanos es por esta razón se le atribuye al Perú como país originario de la papa (Yaipén, 2013).

No obstante en el Perú, la producción se limita a papa fresca, que a su vez tiene un índice promedio bajo de 15 Tn / hectárea al 2013 (Quevedo, 2014), esto se debe a la gran biodiversidad y tecnología intermedia, siendo el principal destino de la papa el consumo interno y una exportación mínima de papas congeladas nativas (Muro, 2012).

Con respecto a sus derivados en el Perú, el más importante que se emplea a nivel industrial y doméstico es la fécula de papa (almidón), el cual es importado casi en su totalidad. No obstante, MINAG en el 2009 mediante un proyecto en conjunto con la asociación de productores Nación Chanca de Andahuaylas, con el fin de producir y satisfacer una parte de la demanda interna, instalaron una planta de producción de Almidón de Papa con capacidad de 500 Tn/año (Andina, 2010); sin embargo debido al costo elevado de materia prima en la zona en ciertos meses, hace que funcione eventualmente (Quevedo, 2014).

Los países productores de almidón tienen variedades de papa ya desarrolladas exclusivamente para este fin, y un rendimiento superior por hectárea, en consecuencia, costos inferiores de insumos y un producto (almidón) con menor costo. Actualmente el Perú importa alrededor 19500 Tn / año de almidón de papa, de países procedentes como Alemania, Holanda y Polonia en su mayoría (Agrodata, 2013).

Una solución para mejorar el almidón producido en Perú y ser competitivo frente al producto importado, es brindándole un valor agregado como por ejemplo la obtención de almidones modificados, el cual por la modificación potencia sus propiedades y aumenta la versatilidad

de aplicación como insumo en alimentos (ya sea de sustitución parcial o de mejora) logrando que el valor agregado sea mayor y se pague un buen precio. Cabe mencionar que la modificación ya sea física o química es de por sí compleja e involucra muchos factores (temperatura, tiempo, tipo de tratamiento entre otras), las cuales van de la mano con el tipo de alimento en la cual va actuar, las propiedades del insumo que va a sustituir o las propiedades que se quiere mejorar en el producto.

La industria de helados es una de las industrias de alimentos con mayor crecimiento en el Perú, pues en términos de valorización paso de US\$ 39,7 millones en el 2007 a US\$ 83,7 millones al 2012 y se proyecta al 2017 que el sector se valore en US\$ 129,4 millones (Gestión, 2014). El mercado actual demanda helados de calidad con excelentes características de textura cuerpo las cuales, en conjunto con el sabor, determinen en gran medida, que potencialicen sinergismos entre componentes, obteniendo productos finales de mejor calidad (Posada, *et al.* 2012).

Bahrapmparvar y Tehrani (2011) mencionan que «la calidad del helado se consigue con una formulación y procesamiento adecuado, también consideran a los estabilizadores como un insumo importante, que ayuda a incrementar la viscosidad de la mezcla base de helado, mejora la aireación, crioprotección y el control de fusión». Goff y Hartel (2013) consideran a los almidones modificados como un insumo estabilizante.

Debido a la gran diversidad de industrias de alimentos que en sus componentes tienen al almidón como insumo, en la presente investigación se propuso una metodología de como potenciar los atributos iniciales del almidón (modificación por acetilación) aplicándose a un alimento determinado (helado *soft*) que tenga características similares a uno comercial, contribuyendo de esta forma a la ampliación de propuestas para mejorar el almidón producido en el Perú.

Por ello el objetivo principal de esta investigación fue:

- Obtener un almidón químicamente modificado por acetilación para aplicarlo en helados *soft* como sustituto parcial de sólidos lácteos no grasos.



Y los objetivos secundarios fueron:

- Modificar el almidón de papa variedad única mediante acetilación y, caracterizarlo fisicoquímica y funcionalmente.
- Determinar la cantidad de almidón modificado a ser aplicada en una mezcla de helado *soft* con características similares a un helado *soft* comercial.
- Caracterizar el helado obtenido y evaluar su aceptabilidad.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Papa

La papa (*Solanum tuberosum*) en el mundo es el cuarto producto principal alimenticio después del trigo, el arroz y el maíz, pues es un importante proveedor de hidratos de carbono (almidón) en la alimentación de cientos de millones de personas (Singh y Kaur, 2009).

Muro (2012) afirma que «en el Perú la papa se cultiva en los 19 departamentos, desde el nivel del mar hasta los 4,100 metros de altura y constituye la base de la alimentación del poblador de la sierra». El cultivo de la papa genera al productor andino mayores ingresos económicos que cualquier otro cultivo; ofrece más de 110,000 puestos de trabajo, es producido por 600 mil pequeñas unidades agrarias en el sector primario (34 millones de jornales/ año), sin considerar lo que se utiliza en la industria y en los servicios relacionados a su comercialización y utilización.

El cultivo de papa representó en el 2013 el 8 por ciento del PBI agropecuario, y es el tercer cultivo (después de la caña de azúcar y la alfalfa) con mayor cantidad de Toneladas producidas en el 2013, generando alrededor de 4,47 millones de kilogramos de Toneladas de papa y a su vez aportó el mayor valor bruto de producción de todos los cultivos con 1 805 403 millones de nuevos soles. La tendencia de crecimiento del cultivo de la papa en cuanto a lo económico es buena, por ejemplo en el 2012 el cultivo representaba el 7,2 por ciento del PBI agropecuario y se produjeron 4,2 millones de kilogramos de toneladas de papa, comparado con el 2013 hay un crecimiento notable (SIEA, 2013).

Uno de los factores del crecimiento de la producción de papa en el Perú, es la promoción del consumo en donde se ha logrado que de 73 Kg / persona / año en el 2007 se consuma 85 Kg / persona / año en el 2013 (Quevedo, 2014). No obstante solo el 8 por ciento se procesa, comparado con países como Colombia, México, Argentina, los cuales registran porcentajes de 15, 12 y 20 por ciento respectivamente (Muro, 2012), o como en Norteamérica, o en algunos países de Europa, que procesan entre 50 a 60 por ciento de toda su producción de papa (Singh y Kaur, 2009).

Los productos procesados de la papa que se realizan en Perú son: papa cortada para pollería, chips de papa, tunta, tocosh, papa seca, puré de papa y almidón. Siendo estos dos últimos en donde hubo mayor apoyo por parte del gobierno, con la instalación de una planta de extracción almidón para región de Andahuaylas y otra planta de puré de papa en Cajamarca; no obstante, hoy en día la planta de almidón no funciona debido a que el costo de materia prima es elevado, y la planta de puré de papa no tuvo acogida en el Perú ya que las madres prefieren hacer su propio puré (Quevedo, 2014).

Quevedo (2014) afirma que la carencia del procesamiento de la papa en el Perú, es debido a que en el mercado se encuentra papa todo el año, comparado con otros países que solo tienen una cosecha anual o por condiciones climáticas (invierno con nieve) se encuentran en la necesidad de consumir productos procesados. A pesar de esta limitante, la promoción del gobierno es darle un mayor valor agregado a este cultivo y por el momento sólo se apuesta por la promoción de papas nativas debido a su característica funcional.

La papa se clasifica en tres grandes grupos: Papa blanca, Papa amarilla y papas Nativas.

- Papa blanca: Son las más consumidas debido al precio y a la disponibilidad (están en todos los mercados) y tienen un mayor rendimiento por hectárea (por encima de 25 Tn en costa, y alrededor de 15 Tn en sierra). Entre las más comerciales están la Canchan, Única, Perricholi, Amarilis, Yungay entre otras. El precio de la papa blanca de calidad primera o segunda oscila, en mercados mayoristas entre S/. 0,60 y S/.1,10 nuevos soles, pues varía en función de la oferta y demanda (Muro, 2012; Quevedo 2014).

El nombre de papa blanca se denomina por la pulpa blanca, son de gran tamaño y de gran contenido de materia seca. La mayoría de estas papas, son deseables para la cocina debido a que tienen una forma uniforme, y también son precoces ya que se cosechan entre 3 y 3,5 meses (Quevedo, 2014).

- Papa Amarilla: Se le denomina amarilla por el color de la pulpa amarilla o crema en algunas. Es consumida seguido de la papa blanca, por su sabor característico (dulce) y presenta una textura (harinosa), lo cual hace que esté presente en la cocina peruana.
- Entre las más comerciales se encuentran la amarilla tumbay, huamantanga, Peruanita, amarilla del centro, camotillo y tayacaja. Su contenido de materia seca es alrededor del 25 por ciento, algunas variedades se han utilizado para fritura en el Proyecto Papy bom:

papas fritas a base de papa amarilla tumbay y huamantanga, o para pollerías exclusivas de lima (Muro, 2012).

El precio de la papa amarilla es elevado (entre S/. 1,80 y S/. 2,60 nuevos soles) debido a que se cosechan después de 4 a 5 meses, y también se tiene un rendimiento de producción bajo menor a 20 Tn por hectárea (Muro, 2012; Quevedo, 2014).

- Papas Nativas: Son la papas propias de Perú que existen desde tiempos ancestrales, tienen un alto valor nutricional (ricas en vitamina C, hierro y zinc en comparación a las demás), tienen un rendimiento por hectárea bajo (8 a 15 Tn). Algunas variedades tienen colores violáceos, rosados, azules y/o amarillo, debido a la presencia de antocianinas entre otras (Muro, 2012; Quevedo, 2014)

El precio de las papas nativas es elevado, debido al valor agregado que le da brinda sus características funcionales, además de su bajo rendimiento por hectárea (Quevedo, 2014).

Bemiller y Whistler (2009) afirman que «el principal producto procesado de la papa, en el mundo, es el almidón, por su versatilidad como insumo en las industrias de: alimentos, química, textil, papelería y farmacéutica». Un ejemplo claro es China, un gran productor de papa, que procesa el 6 por ciento de toda su producción de papa y del cual el 83,3 por ciento es exclusivamente para la extracción de almidón (Fairbourn, 2008).

Una de las empresas más grandes de Europa, AVEBE, produce cerca al 25 por ciento de la totalidad de almidón consumido en el mundo. En el 2009 reportó el 70 por ciento de todo su almidón producido es modificado (Bemiller y Whistler, 2009)

Para la producción de almidón se debe contar con una papa de alto contenido de materia seca cercano al 25 por ciento (Gómez y Wong, 1998), o también con una variedad de alto rendimiento por hectárea, cuya calidad de tercera y descartes sea menor de S/. 0,20 por Kg (Muro, 2012).

### **2.1.1 Papa variedad Única**

Es una variedad híbrida que se desarrolló en 1998, los progenitores que dieron origen a esta variedad son 387521,3 x APHRODITE y al clon (C92 – 140) se registró con el código N° CIP. 392797,22 (CIP, 2014; MINAG, 2014). Se caracteriza por ser precoz, tolerante al calor, con aptitud para la fritura (industria). En las siembras atrasadas de la costa (septiembre, octubre) o muy atrasadas (enero y febrero) se desarrollan y producen mejor que las

variedades tradicionales, se adapta en la sierra hasta los 3 700 msnm, costa norte, central y sur (MINAG, 2014; Vásquez, 2009).

MINAG (2014) afirma que tiene forma elíptica y alargada con ojos semi – profundos, en donde se forman ligeras protuberancias hacia finales de la primavera, volviéndose más liso en el invierno o bajo condiciones de Sierra. La piel del tubérculo es de color rosado, y toma una tonalidad más clara hacia finales de la primavera, y es roja en condiciones de Sierra; la pulpa es crema.

CIP (2014) indica que la papa variedad única tiene 21 por ciento de materia seca y una tasa de absorción de aceite de 39 por ciento en la fritura, también sobre la concentración de nutrientes en tubérculos: Vitamina C en promedio de 77,78 mg / g peso seco, Hierro 19,59 mg / kg peso seco y Zinc 18,12 mg / kg peso seco.

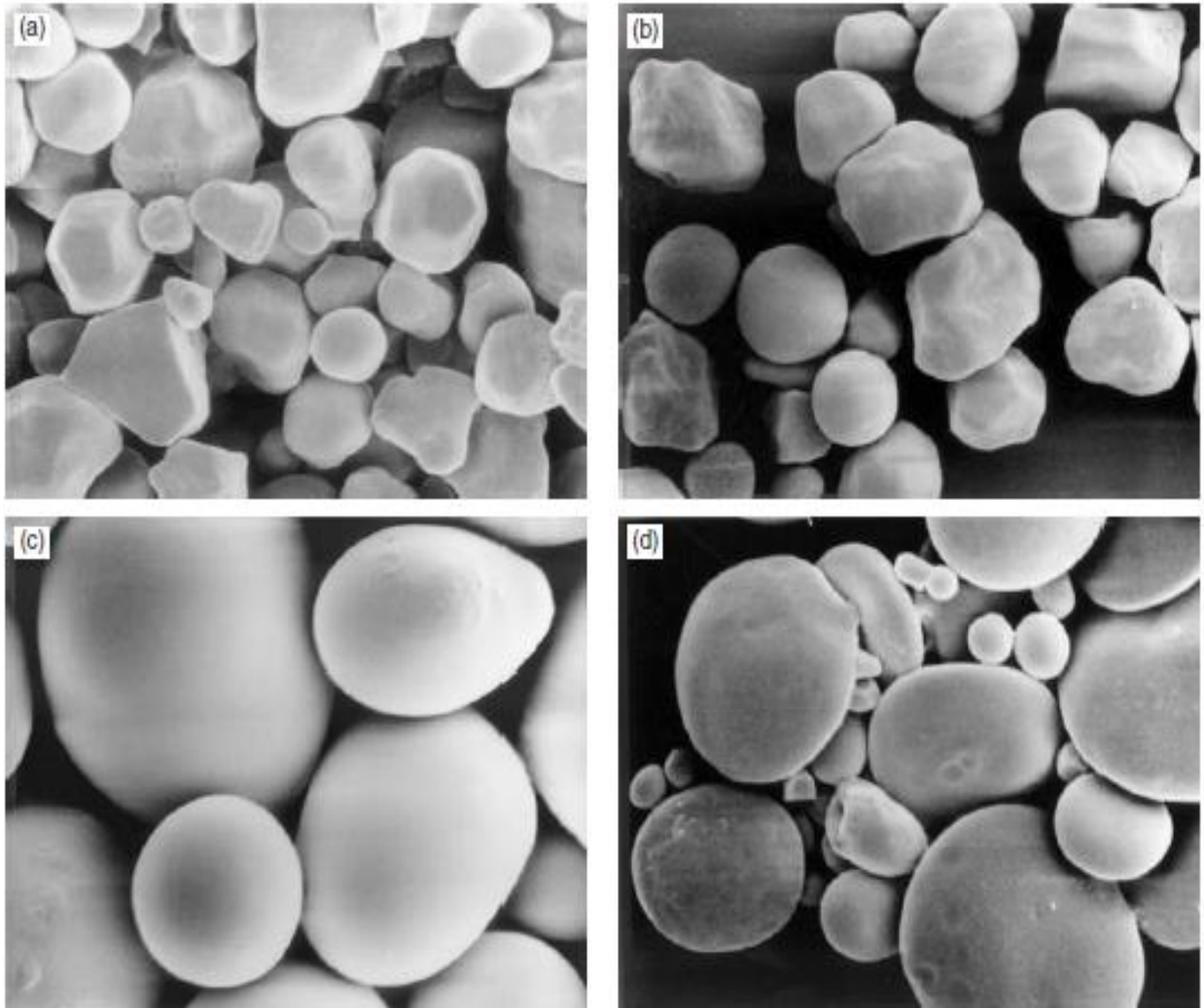
En cuanto al precio, la calidad primera se encuentra alrededor de S/. 0,60 nuevos soles por Kg y la calidad tercera en la mayoría de meses del año, tiene precios por debajo de S/. 0,20 nuevos soles (OIA – La Libertad, 2014). El bajo costo de la calidad tercera y el contenido alto de materia seca hacen que esta variedad sea ideal para la producción de almidón.

Gómez y Wong (1998) recomiendan para la producción de almidón un contenido cercano al 25 por ciento de materia seca; sin embargo, esto no quiere decir que la variedad única no es para elaborar almidón, ya que también influye en esta decisión el precio de materia prima. Muro (2012) recomienda para la producción de almidón usar papa de calidad tercera, cuarta y descartes, que su precio baje de S/. 0,20 por kg para que sea factible.

## **2.2 Almidón**

Es el principal material de almacenamiento de carbohidratos en muchas plantas superiores y es considerado el segundo más grande biopolímero natural junto a la celulosa, asimismo dentro de los carbohidratos alimentarios uno de los más importantes (Cui, 2005).

El almidón se encuentra principalmente en las semillas, raíces y tubérculos, pero también se encuentran en los tallos, hojas, frutos e incluso polen. Los gránulos de almidón se producen en todas las formas y tamaños (esferas, elipsoides, polígonos, plaquetas y túbulos irregulares); sus dimensiones en diámetro en forma de gránulos, van desde 0,1  $\mu$  m a por lo menos 200  $\mu$  m, va dependiendo de la fuente botánica (Figura 1).



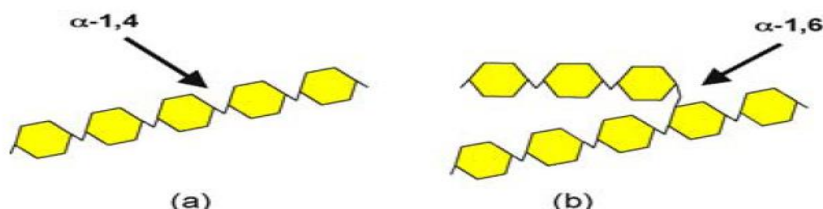
**Figura 1: Gránulos de diferentes almidones visto por microscopia de barrido electrónico: maíz normal, (b) maíz ceroso, (c) papa y (d) trigo**

FUENTE: Bemiller y Whistler (2009)

Estos gránulos son partículas parcialmente cristalinas las cuales están formadas de dos homopolímeros de glucopiranososa con diferentes estructuras, estas estructuras se conocen como la amilosa y amilopectina (Figura 2) (Bertolini, 2010; Bemiller y Whistler, 2009; Cui, 2005; Eliasson, 2004).

Bemiller y Whistler (2009) afirman que «la amilosa es la  $\alpha$ -glucano (1 $\rightarrow$ 4)-vinculado en una estructura predominantemente lineal y puede llegar a tener un grado de polimerización alto (número de monómeros hasta 600)». La amilopectina, polímero de  $\alpha$ -glucano (1 $\rightarrow$ 4) – con puntos de ramificación  $\alpha$ -glucano (1 $\rightarrow$ 6), es el componente principal de los gránulos

(30 – 99 por ciento), esta contiene aproximadamente 5 por ciento de puntos de ramificación, que en comparación con la amilosa, imparte profundas diferencias en las propiedades físicas y biológicas.



**Figura 2: Representación esquemática de la amilosa (a) y la amilopectina (b)**

FUENTE: Singh y Kaur (2009)

El almidón es también una de las materias primas más importantes para el uso industrial. En su forma de gránulos nativos, el almidón tiene aplicaciones limitadas; no obstante al llegar a modificarla, sea de manera física, química o biotecnológica, éste amplia la versatilidad de su uso en productos industriales, incluyéndose como ingredientes de los alimentos, agentes de encolado para papel, textiles y plásticos a base de almidón (Cui, 2005).

Cabe mencionar que la estructura de un gránulo se ve influenciada en parte por las estructuras finas y proporciones de moléculas de amilosa y amilopectina; la estructura influye en la accesibilidad del agua y productos químicos reactivos, que afecta a los patrones de reacción moleculares y propiedades de los almidones modificados (Bertolini, 2010; Bemiller y Whistler, 2009; Cui, 2005; Eliasson, 2004).

### 2.2.1 Almidón de papa

El almidón de papa es el componente principal de la papa el cual está presente entre el 15 al 28 por ciento del peso de esta, para aplicaciones industriales alimentarias se considera al almidón de papa como muy puro a comparación de otros tipos de almidones; también posee propiedades únicas que se atribuyen a sus estructuras granulares y moleculares (grandes cadenas de amilopectina y amilosa) incluyendo gránulos muy grandes y lisos. Además tiene un alto contenido de fosfato unido covalentemente, estas características combinadas hacen

del almidón de papa sea una enorme fuente de biopolímero funcional para la alimentación y la ciencia de materiales (Singh y Kaur, 2009).

Hoover (2001) citado por Singh y Kaur (2009), menciona que el granulo de almidón tiene un diámetro de 10 a 100  $\mu\text{m}$ , a su vez está compuesto por amilosa y amilopectina, siendo esta última la que se encuentra entre 70 – 80 por ciento del peso de la papa, independientemente del tamaño de los gránulos de almidón.

Además de los polisacáridos presentes en el granulo de almidón, existe muy bajas cantidades de material de naturaleza de no carbohidrato. Debido a que menos del 0,5 por ciento de los gránulos son proteínas (Yusuph *et al.*, 2003 citado por Singh y Kaur, 2009); también que la presencia de lípidos sea nula, en comparación a otros almidones de raíces y tubérculos en donde sí se encuentra lípidos (Hizukuri *et al.* 1970; Hoover, 2001 citados por Singh y Kaur, 2009).

En la Figura 3 se muestra al gránulo de almidón de papa bajo la luz polarizada, en la cual se ve la cruz de malta característica y los anillos cristalinos del almidón (a), también se ve la ampliación de la estructura de un anillo semicristalino, con moléculas de amilosa incrustadas tanto entre las laminillas amorfas cristalinas como en las dobles hélices de la amilopectina (b) y un esquema de la estructura del almidón (c).

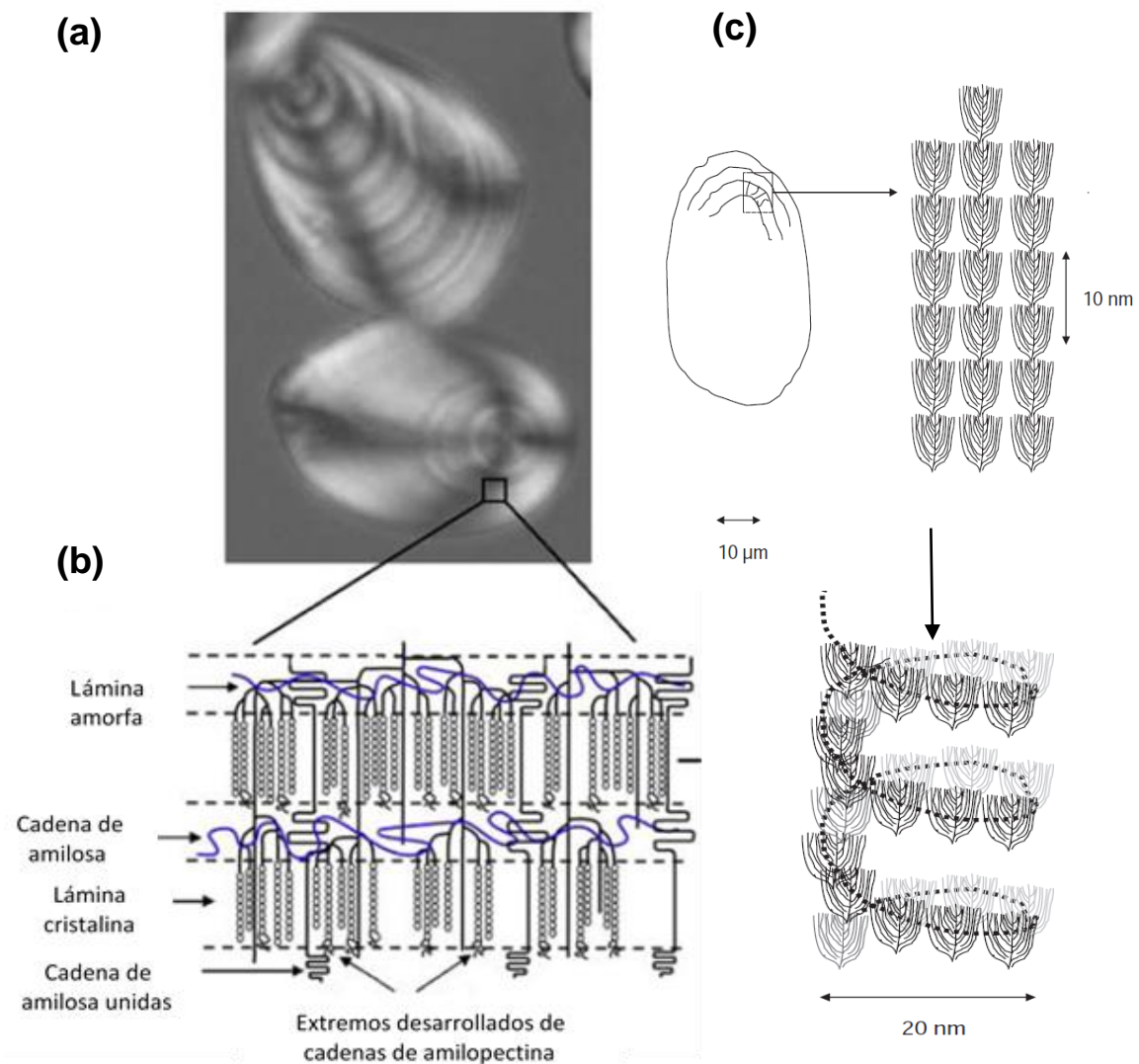
## **2.3 Propiedades funcionales del almidón**

El almidón tiene diversidad de usos en la industria de alimentos sea como espesante, relleno, aglutinante y/o como estabilizador, estos efectos principalmente se deben a sus propiedades funcionales, las cuales se determinan para describir la futura aplicación del almidón.

### **2.3.1 Hinchamiento del gránulo**

El almidón tiene la capacidad de incrementar su volumen y peso, cuando se brindan los medios necesarios para hincharse libremente en agua. El hinchamiento depende de las fuerzas asociadas dentro de la red del gránulo del almidón (composición química de amilosa y amilopectina, grado de disociación, tamaño del gránulo, etc.) (Bemiller y Whistler, 2009).





**Figura 3: Gránulo de almidón de papa**

FUENTE: (a) y (b) Singh y Kaur (2009), (c) Imeson (2010)

### 2.3.2 Gelatinización

Bemiller y Whistler (2009) describen a la gelatinización como el colapso del orden molecular del granulo de almidón, que se manifiesta en cambios irreversibles en las propiedades tales como hinchazón granular, fusión de la gránulos cristalinos (originando gránulos amorfos), pérdida de birrefringencia y solubilización del almidón. El punto de gelatinización inicial y el rango sobre el que se produce se rige por la concentración de

almidón, método de observación, tipo de gránulo, y heterogeneidades dentro de la población de gránulos en observación.

La gelatinización en una escala macroscópica produce un engrosamiento y pérdida de opacidad (se debe tener en cuenta que la gelatinización es muy diferente de la formación de gel (gelificación), en donde se crea un semisólido con estructura tridimensional a partir de un líquido y sólido, la cual puede ir acompañada por el aumento de turbidez (Bemiller y Whistler, 2009).

El colapso del orden molecular se produce cuando la temperatura del almidón inmerso en agua llega entre 60 y 70°C, donde los gránulos insolubles se ven afectados por la energía suministrada, lo que origina la pérdida de la organización molecular y en consecuencia la pérdida de su cristalinidad. En este proceso se da un aumento de la solubilización de almidón y la viscosidad, que son resultados de un cambio irreversible tal como la interrupción de la estructura granular y semicristalina, lo que es observado como la pérdida de la birrefringencia (Bertolini, 2010).

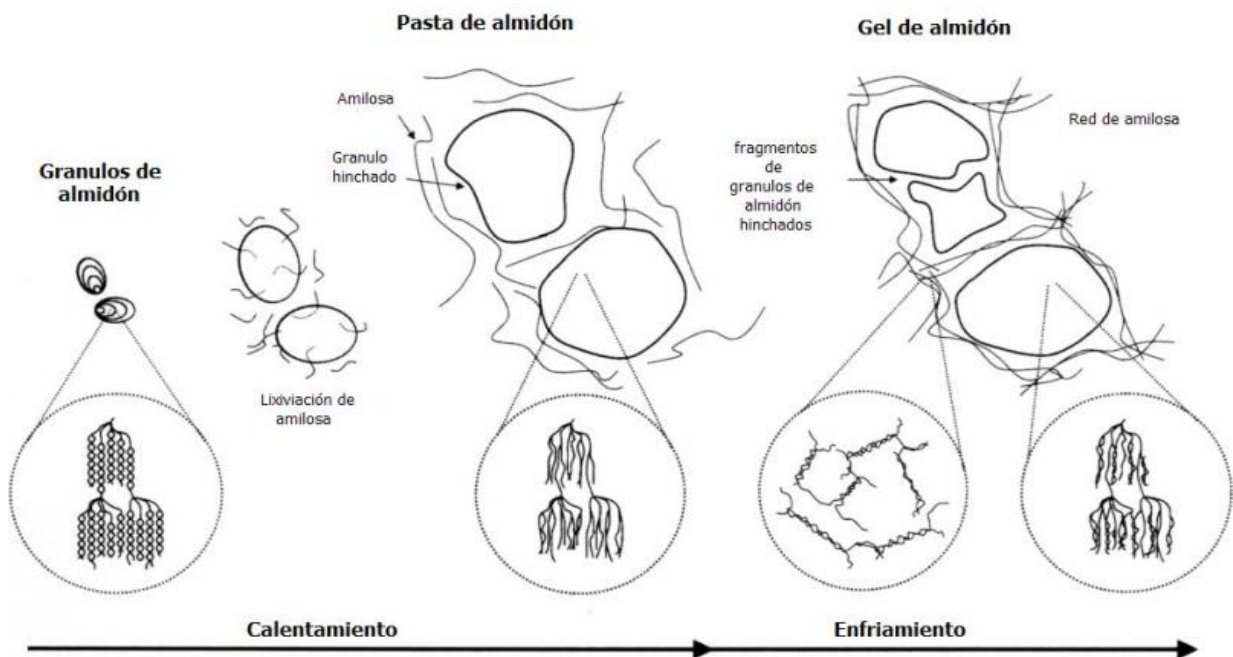
El proceso de gelatinización puede estar influenciada por diversos factores (tiempo, temperatura, humedad, almacenamiento y/o preparación del material), por ello se utilizan diferentes técnicas para su investigación como: punto final de birrefringencia, viscosidad, difracción de rayos-x, valoración azul del complejo amilosa/yodo, digestibilidad enzimática, resonancia magnética nuclear, calorimetría diferencial de barrido (DSC), entre otras (Biliaderis *et al.*, 1980; Calceta y Suarez, 2001; Fukuoka *et al.*, 2001; Jacobs y Delcour, 1998; Ojeda *et al.*, 2000 citados por Tovar, 2008).

### **2.3.3 Gelificación**

Es la disolución del almidón propiamente dicha, la cual engloba el resultado de varios procesos (Figura 4): hinchamiento del gránulo, exudación de componentes moleculares de los gránulos (principalmente amilosa), y la desintegración del gránulo (Bemiller y Whistler, 2009; Espinosa, 2008).

Durante el hinchamiento de los gránulos, los puentes de hidrógeno entre las cadenas de almidón se disocian y son reemplazados con puentes de hidrógeno con las moléculas de

agua, lo cual incrementa la viscosidad. La amilosa es el principal componente que lixivia el gránulo y la concentración de amilopectina solubilizada se va incrementando conforme la temperatura aumenta. En general, las propiedades de formación de pasta del almidón son afectadas por la concentración de almidón, velocidad de calentamiento y esfuerzo de corte aplicado, contenido de amilosa del almidón, estructura molecular de la amilopectina, tamaño del gránulo y contenido de componentes minoritarios (Srichuwong y Jane, 2007 citados por Espinoza, 2008).



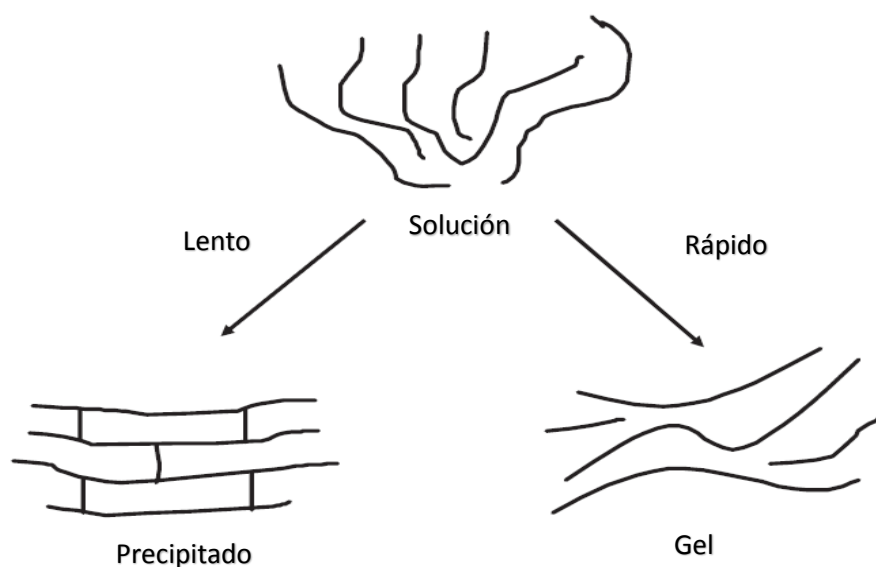
**Figura 4: Representación Esquemática de las propiedades de formación de pasta de almidón**

FUENTE: Espinoza (2008)

La amilopectina es la principal responsable del hinchamiento y viscosidad de la pasta de almidón (Tester y Morrison, 1990 citados por Espinoza, 2008).

Una vez logrado el máximo hinchamiento en los granulos de almidón, algunos se rompen o por la fase de enfriamiento se desnaturalizan, logrando que algunas moléculas de amilosa y amilopectina sean parte de la solución, esta nueva red se denomina gel (Bemiller y Whistler, 2009).

Imeson (2010) menciona que durante el enfriamiento lento de la pasta de almidón, se forman agregados insolubles no deseados que precipitan, los cuales se componen de amilosa. En la Figura 5 se muestra el resultado de la red del gel en un enfriamiento lento y rápido.



**Figura 5: Resultado de la red del gel en un enfriamiento lento y rápido**

FUENTE: Imeson (2010)

Los cambios de viscosidad en las dispersiones de almidón durante el calentamiento y enfriamiento, comúnmente son medidos con instrumentos llamados viscoamilógrafos (Brabender y analizadores rápidos de la viscosidad (RVA)). Estos equipos llevan a cabo programas de mezclado, calentamiento y enfriamiento, que generan perfiles de gelatinización y retrogradación altamente reproducibles. Las unidades de medida son unidades Brabender (UB) y unidades de viscosidad rápida (RVA) (Thomas y Atwell, 1999 citados por Espinoza, 2008).

#### **2.3.4 Retrogradación**

Seguido de la gelatinización, durante la fase de enfriamiento, en el almidón comienza la retrogradación, en donde las cadenas tienden a reasociarse en una estructura ordenada (Bemiller y Whistler, 2009). Las moléculas de almidón, que tras la gelatinización, se presentan en forma amorfa, conforme pasa el tiempo se reasocian formando cristales que están compuestos por las dobles hélices del almidón. Las moléculas de amilosa retrogradan

mucho más rápido que las moléculas de amilopectina, debido a que la formación de dobles hélices se presentan inmediatamente después de la gelatinización; por lo cual la amilosa es la responsable de los cambios reológicos iniciales de la pasta de almidón. Por otra parte, la retrogradación de la amilopectina es más lenta, y puede presentarse a lo largo de días o semanas, debido a que su estructura es altamente ramificada (Srichuwong y Jane, 2007 citados por Espinoza, 2008).

La velocidad de retrogradación depende de varios factores como: la temperatura de almacenamiento, la longitud de las cadenas de la amilopectina, de la concentración de lípidos y derivados de monoéster y fosfatos (Singh y Kaur, 2009; Ayucitra, 2012; Bello *et al.*, 2002; Srichuwong y Jane, 2007 citados por Espinoza, 2008).

En el Cuadro 1 se presentan las propiedades de gelatinización y formación de pasta de diferentes almidones nativos descritos por Bemiller y Whistler (2009).

## **2.4 Modificación de almidón**

La modificación del almidón es la alteración física o química que se realiza con el fin de mejorar sus propiedades funcionales, en donde se busca reducir la excesiva viscosidad, aumentar la resistencia al cizallamiento, disminuir tendencia a la retrogradación, baja estabilidad en frío, entre otras (Singh y Kaur, 2009; Bertolini, 2010; Bemiller y Whistler, 2009).

Singh y Kaur (2009) afirman que «en el almidón de papa, la modificación busca superar las limitaciones del almidón nativo, como la baja resistencia al cizallamiento, al ácido y sobre todo su alta tendencia a la retrogradación». También, mencionan que la efectividad de la modificación depende del origen botánico, el tamaño y la estructura de los gránulos de almidón.

Ramos (2012) menciona que la modificación de almidón, se produce debido a que los grupos hidróxilo disponibles de la amilosa y amilopectina presentan reactividad específica en los alcoholes; es decir, pueden ser oxidados y reducidos, de tal forma que participan en la formación de nuevos enlaces. Estos grupos pueden formar sales y participar en la formación de éteres y ésteres; por lo tanto, las características químicas y estructurales de las

moléculas que componen al almidón se modifican, a su vez mejoran ciertas propiedades que no son deseables en el almidón nativo.

**Cuadro 1: Propiedades de gelatinización y formación de geles de almidones nativos**

Propiedad	Papa	Maíz	Trigo	Tapioca	Arroz
Temperatura de gelatinización Rango(° C) <sup>a</sup>	68-63-68	62-67-72	58-61-64	59-64-69	68-74-78
Viscosidad Brabender (BU) <sup>b</sup>	2900	700	250	1200	500
Poder de Hinchamiento a 95°C <sup>c</sup>	1150	24	21	71	19
Viscosidad del gel	Muy alta	Intermedia	Intermedia-baja	Alta	Intermedia-baja
Claridad del gel	Translucida	Opaca	Opaca	Translucida	Opaca
Resistencia al corte	Intermedia-baja	Intermedia	Intermedia	Baja	Intermedia
Ratio de retrogradación	Intermedia	Alta	Alta	Baja	Alta

<sup>a</sup> Determinado por microscopia de fase caliente Kofler (inicio-intermedio-final)

<sup>b</sup> BU a 8 por ciento de almidón

<sup>c</sup> peso de gránulos hinchados sedimentados por gramo de almidón seco

FUENTE: Bemiller y Whistler (2009)

Bertonlini (2010) afirma que «la modificación química o física de un almidón nativo, acentúa las características positivas y disminuye las cualidades indeseables, entre estas la excesiva viscosidad a tan poca cantidad de sólidos (ocasiona falta de textura), la alta susceptibilidad a la retrogradación (opacidad del gel y la baja estabilidad a la congelación-descongelación) y sobre todo la falta de tolerancia al proceso (Temperatura, acidez, pH, esfuerzo de corte entre otras)».

El almidón modificado tiene una gama de papeles en la variedad de alimentos (Cuadro 2), para tener un uso apropiado de un almidón modificado se debe realizar un seguimiento de los cambios que hay durante la formación de pasta, refrigeración, y el impacto que estos tienen sobre las estructuras de los alimentos a aplicar (Bemiller y Whistler, 2009).

Bertonlini (2010), Singh y Kaur (2009) Bemiller y Whistler (2009) y Eliasson (2004) mencionan que el tipo de modificación del almidón depende del alimento en que se aplicará y recomiendan que para productos de conservación en frío, se usen almidones modificados por acetilación, pregelatinización o hidroxipropilación. Asimismo, Bertonlini (2010), Bemiller y Whistler (2009) y Eliasson (2004) sostienen que la modificación por acetilación es la más idónea para alimentos congelados, mientras los almidones hidroxipropilados y pregelatinizados son de mejor aplicación en alimentos a temperatura de refrigeración.

**Cuadro 2: Rol de los almidones modificados en alimentos**

Función	Alimentos
Adhesión	Alimentos rebosados y empanados.
Cohesión	Hamburguesas, snacks condimentados.
Opacidad	Bebidas.
Crujiente	Alimentos fritos y horneados, snacks.
Estabilización de emulsión	Bebidas, cremas y helados.
Encapsulación	Sabores, Bebidas.
Sustitución de la grasa	Helados, aderezos para ensaladas.
Estabilización de la espuma	Marshmallows.
Gelificación	Centros de las gomas de mascar.
Retención de humedad	Pasteles, carnes.
Acristalamiento	Panadería, aperitivos.
Espesantes	Salsas, rellenos de pastas, sopas.

Fuente: Bemiller y Whistler (2009)

En el Cuadro 3 se presentan los tipos modificación de almidón y su preparación, mientras que en el Cuadro 4 se presentan los beneficios de los diferentes almidones modificados y que usos típicos. .

**Cuadro 3: Tipos de almidón modificado y su preparación**

Tipos de modificación	Preparación	
Físicas	Tratamiento Calor – humedad: Calentamiento del almidón a una temperatura superior a su punto de gelatinización con una suficiente humedad para causar la gelatinización.	
	Tratamiento por calor – humedad y humedad presión	Recocido: calentamiento de una mezcla de almidón granular a una temperatura inferior a su punto de gelatinización durante períodos prolongados de tiempo.
	Tratamiento a alta presión: Tratar el almidón mediante una ultra alta presión (por encima de 400 MPa), consiguiendo que el almidón gelatinice con muy poco hinchamiento de manera que mantiene su carácter granular.	
	Pregelatinización	Almidones de hinchazón instantánea en agua fría: Preparados usando procesamientos de secado de tambor, cocción por roció, extrusión o con disolventes bases.
Conversión	Hidrolisis parcial ácida	Tratamiento con ácido clorhídrico o ácido ortofosfórico o ácido sulfúrico.
	Hidrolisis enzimática parcial	Tratamiento en una solución acuosa a una temperatura por debajo del punto de gelatinización uno o más enzimas amilolíticas de grado alimentario.
	Tratamiento alcalino	Tratamiento con hidróxido de sodio o hidróxido de potasio.
	Oxidación	Tratamiento con ácido peracético y/o peróxido de hidrógeno o hipoclorito de sodio o cloruro de sodio o dióxido de azufre, o permanganato de potasio o amonio persulfato.
	Piro conversión (Dextrinización)	Pirodextrinas: Preparado por el tostado acidificado del almidón seco.
Eterificación	Almidón hidroxipropilado: Eterificación con oxido de propileno.	



«Continuación»

Esterificación	<b>Acetato de almidón: esterificación con anhídrido acético</b> o acetato de vinilo. Adipato acetilado de dialmidón: Esterificación con anhídrido acético y ácido adípico. Almidón octenilsuccinato de sodio: Esterificación por anhídrido octenilsuccinico.
Derivatización	Reticulado Fosfato de monoalmidón: Esterificación con ácido ortofosfórico o de sodio o tripolifosfato de sodio. Fosfato de dialmidón acetilado: Esterificación con trimetafosfato de sodio. Fosfato de dialmidón acetilado fosfatado, combinación de tratamientos de fosfato de dialmidón acetilado y fosfato de monoalmidon.
	Modificación doble Fosfato de Dialmidón acetilado: esterificación con trimetafosfato o oxiclورو de fósforo combinado por esterificación con anhídrido acético o acetato de vinilo Hidroxipropil dialmidón fosfato: esterificación con trimetafosfato de sodio u oxiclورو de fosforo combinado con eterificación de óxido de propileno.

FUENTE: Singh y Kaur (2009)

La selección de un almidón modificado para un uso dado depende de las propiedades de los alimentos deseados, así como el procesamiento y la sinergia con otros insumos propios del producto. En el Cuadro 4 se presentan los tipos de modificación especificando sus objetivos, sus beneficios y sus usos típicos.

En las investigaciones realizadas por Takahiro *et al.*, (2009), Bello *et al.*, (2002), Raina *et al.*, (2006), Nathaniel *et al.*, (2012), Bello *et al.* (2010), Ayucitra (2012), Kadivar *et al.*, (2009), Wu y Seib (1990) se han reportado análisis de diversas propiedades de almidones modificados como la temperatura de gelatinización, viscosidad aparente, reología, claridad de la pasta, sinéresis, microscopia de barrido electrónico, perfil viscoamilográfico, entre otras.

**Cuadro 4: Tipos de modificación del almidón**

	Objetivo	Beneficios de usar	Usos Típicos
Reticulado	Fortalecer el gránulo de almidón. Frenar el desarrollo de la viscosidad, retardando el hinchazón del gránulo	Mejora de la tolerancia del proceso al calor, ácido y cizalla. La eficiencia de producción: aumento de la penetración de calor que permite un menor tiempo de proceso.	Productos estables a temperatura ambiente. Salsas embotelladas. Sopas y salsas esterilizadas.
Derivatización (esterificación y eterificación)	Evitar la contracción del granulo de almidón y proporcionar estabilidad a bajas temperaturas Baja la temperatura de gelatinización. Reduce la gelificación.	Excelente estabilidad al frio, la congelación y la descongelación; prolongando su vida útil. Fácil de cocinar en sistemas de alto contenido de sólidos. Brinda una gelificación reducida. Mejora propiedades emulsificantes.	Alimentos procesados refrigerados y congelados. Rellenos y coberturas con alto contenido de sólidos.
Dextrinización	Descomponer y reorganizar las moléculas de almidón proporcionando una viscosidad más baja, aumento de la solubilidad.	Fácilmente se manejan o se aplica en dosis más altas que su almidón nativo precursor para el efecto deseado. Crear propiedades de formación de película.	Sustitutos de grasa. Panadería esmaltes. Revestimientos de protección en confitería.

«Continuación»

---

Conversión enzimática	Producir variada viscosidad, fuerza de gel, con termorreversibilidad y dulzura.	Contribuye en la textura y reología. Dispersante económico.	Análogos de la grasa. Portadores del sabor. Relleno de mezclas.
Reducción Acida	Baja viscosidad y aumentar la resistencia del gel.	Mejora propiedades texturales en concentraciones más altas de uso de almidón.	Gomas, pastillas, jaleas.
Oxidación	Aumenta la claridad y reduce la retrogradación de las pastas de almidón. Proporcionar una baja viscosidad y estabilidad a baja temperatura.	Mejora la adhesión de los recubrimientos. Crea geles suaves estables en dosis mayores, de los almidones nativos natales.	Carne de pescado y pollo maltratada. Confitería.
Sustitución lipofílica	Introduce grupos lipofílicos.	Estabilizador de emulsión que mejora la calidad de cualquier producto que contengan grasa o aceite. Reduce la rancidez.	Bebidas, aderezos para ensaladas. Agentes de encapsulación del sabor.

---

«Continuación»

---

Pre gelatinización	Precocinar al almidón para dar propiedades espesantes de agua fría.	Engrosamiento del agua fría. Elimina la necesidad de cocción, ofrece comodidad y ahorro de energía.	Sopas instantáneas, salsas, aderezos, postres, premezclas de panadería.
Tratamiento térmico	Fortalecer el gránulo de almidón. Frenar el desarrollo de la viscosidad al retardar la hinchazón del gránulo.	Almidón nativo funcional único con declaración de “Almidón” en la etiqueta. Mejora la tolerancia en el proceso de calor, ácido y cizalla. Eficacia de la producción: calor creciente de penetración permitiendo más corto tiempo de proceso.	Productos estables a temperatura ambiente. Salsas embotelladas. Sopas y salsas esterilizadas.

---

FUENTE: Recopilado de Bemiller y Whistler (2009) y Eliasson (2004)

### 2.4.1 Modificaciones múltiples

Tomas y Atwell (1998) mencionan que en muchos casos sólo un tipo de modificación es suficiente para impartir todas las propiedades necesarias para un almidón destinado a una aplicación específica. No obstante, los almidones son a menudo sometidos a combinaciones de modificación física y/o química, las cuales se muestran en el Cuadro 5, en el que se describe el sector alimentario a aplicarse y las combinaciones a aplicar para para obtener la característica deseada.

**Cuadro 5: Almidones usados por sector de aplicación**

Sector	Aglutinantes	Brindar Viscosidad	Formadores de films	Texturizantes
Sopas, Salsas y aderezos	...	X, XS, PX, PXS	...	X, XS, PX, PXS
Panificación	PN	X, P, PX, PXS	D, M	P, X, PX, PXS, M
Lácteos	N, A, M	X, XS, P, PX, PXS	...	X, XS, PXS, A, PX, O, PO, M
Confitería	PO, O	...	O, PO, A	...
Snacks	N, P, PN, PO, D	...	...	...
Recubrimientos y Empanizados	X, PX y O	P, PX	D	O, PO, D, M
Productos Cárnicos	N, X, XS,P	...	XS	XS

\*N= nativo, X= reticulado, P= pregelatinizado, S= substituido, O= oxidado, A= hidrolisis acida, D= dextrinización y M=maltodextrinización

FUENTE: Thomas y Atwell (1998)

## 2.5 Helados

Madrid y Cenzano (2003) definen al helado como «una preparación alimenticia que ha sido llevada al estado sólido, semisólido o pastoso por una congelación simultánea o posterior a la mezcla de las materias primas puestas en producción, las que han de mantener su grado de plasticidad y congelación suficiente hasta el momento de venta al consumidor». Por su parte Bahrapmparvar y Tehrani (2011), lo definen como «un alimento complejo que consta de células de aire pequeñas dispersas en una fase acuosa continua parcialmente congelada». Marshall *et al.* (2003) y Goff y Hartel (2013) lo definen como «un sistema coloidal complejo que consta de células de aire, cristales de hielo y glóbulos de grasa dispersas en la fase serosa».

El helado principalmente se compone de una mezcla de aire, agua, grasa de leche, sólidos lácteos no grasos, edulcorantes, estabilizantes, emulsificantes y saborizantes naturales o artificiales. Siendo los estabilizantes utilizados como la: carragenina, goma *locust bean*, carboximetilcelulosa, goma guar, alginatos, gel base, goma xanthan entre otras (Goff y Hartel, 2013; Bahrapmparvar y Tehrani, 2011; Madrid y Cenzano, 2003; Marshall *et al.*, 2003).

Bahrapmparvar y Tehrani (2011) mencionan que la calidad del helado se consigue con una formulación y procesamiento adecuado; también consideran a los estabilizadores como un insumo importante, que ayuda a incrementar la viscosidad de la mezcla base de helado, mejora la aireación, crioprotección y el control de fusión. En el Cuadro 6 se presentan las funciones de cada posible componente que puede existir en un helado y sus limitaciones en el uso.

### 2.5.1 Clasificación de los helados

Madrid y Cenzano (2003) sostienen que son diversas las formas de clasificar a los helados, por ejemplo, según su composición, tipo de ingredientes, condiciones de envasado, etc. La clasificación más básica es dividirlos en helados de leche y helados de agua; sin embargo la más usada es según el tipo de ingredientes utilizados: helados de crema, helado de leche, helados de leche desnatada, helados de grasa no láctea, helados de mantecado, helados de agua (sorbetes y granizados), tartas heladas y helados diversos.

**Cuadro 6: Funciones y limitaciones de los componentes más comunes en helados**

Componente	Funciones	Limitaciones
Grasa de leche	Aumenta la riqueza del sabor. Lubrica y aísla la boca.	Costo realmente alto y suaviza la textura. Obstaculiza el batido. Puede limitar el consumo debido a las calorías y al efecto saciante.
Grasa no láctea	Proporciona una buena estructura y textura a un costo más bajo que grasa de la leche, si el contenido de grasa sólida es adecuado.	Contribuye poco al sabor. Puede contribuir a la textura grasosa.
Sólidos lácteos no grasos (SGNL)	Mejora el cuerpo y textura (proteína) a través de la emulsificación y la capacidad de retención de agua. Promueve el desarrollo de overrun.	Gran cantidad puede causar sabor a cocido o salado. Posibilidad de arenosidad (cristalización de la lactosa) en alta concentración.
Sólidos de suero	Es menos costoso que las fuentes convencionales de SGNL.	Gran cantidad de lactosa causa la depresión del punto de congelación. Posibilidad de arenosidad mayor que las fuentes convencionales de SGNL.
Azúcar	Baja el punto de congelación. Imparte dulzura al helado. Mejora el sabor y la textura.	El exceso de dulzura posible Baja temperatura de temple necesario. El helado es más suave, lo que afecta al servirlo y aumenta el potencial para una mayor recristalización.

«Continuación»

Sólidos de jarabe de maíz	Menor costo que el azúcar. Mejora el cuerpo y la textura. Aumenta la estabilidad del helado.	En exceso da mal sabor y vuelve al helado masticable.
Estabilizantes	Mejora la textura suave. Proporciona cuerpo. Mejora la vida en anaquel.	Se puede producir exceso de masticabilidad. Aumenta resistencia a la fundición.
Sólidos de la yema de huevo	Mejora la capacidad de batir Imparte sabor a natilla.	Producto fundido espumoso Sabor del huevo puede ser indeseable.
Emulsificantes	Promueve la estabilización de la grasa, dando lugar a la sequedad, la suavidad y buenas propiedades de fusión.	Aumento potencial del batido.
Sólidos totales (ST)	Textura suave. Cuerpo más firme. Un mayor contenido de nutrientes. Reducir el exceso de frío en el congelamiento.	Un exceso vuelve al helado pesado y pegajoso.
Saborizantes	Aumenta la aceptabilidad	En cantidad produce aspereza
Colorantes	Mejora el atractivo. Ayuda la identificación del sabor.	Tonos artificiales. Reacciones alérgicas de algunas personas a amarillo #5 o # 6.

FUENTE: Goff y Hartel (2013)

La norma peruana sobre la definición, requisitos y clasificación de los helados (NTP 202.057) es similar a la clasificación de Madrid y Cenzano (2003). En el Cuadro 7 se



presenta la composición fisicoquímica exigida según el tipo de helados que se comercializan en el Perú.

La norma peruana sobre la definición, requisitos y clasificación de los helados (NTP 202.057) es similar a la clasificación de Madrid y Cenzano (2003). En el Cuadro 7 se presenta la composición fisicoquímica exigida según el tipo de helados que se comercializan en el Perú.

Cabe mencionar que entre los helados más comerciales están los helados de crema, helados de hielo y helados *soft*, siendo el último el estudiado en esta investigación.

**Cuadro 7: Requisitos Fisicoquímicos para Helados**

Requisitos	Helado de Crema	Helado de Leche	Sorbete	Helado de Agua
Grasa Total (%)	Min. 6,0	Min. 1,5	Max 1,5%	-
Sólidos Totales (%)	Min. 32,0	Min. 27,0	Min. 20,0%	Min. 20,0

FUENTE: INDECOPI (2006)

**a) Helados *soft* o helado suave**

Goff y Hartel (2013) definen al helado *soft* como un postre lácteo congelado de textura suave y cremosa, la cual se consume en el estado blando poco después de ser congelado y sin endurecer (llega a  $-18^{\circ}\text{C}$  para su estabilización). Entre los tipos más comunes se encuentran los fabricados a base de yogurt (frozen yogurt), batidos de leche (milk shakes) y la base común de helado de vainilla (helado *soft*).

Los posibles componentes que se van a usar en un helado *soft* son los mismos que en cualquier otro tipo de helado. La diferencia radica en la formulación (Cuadro 8), Goff y Hartel (2013) brindan un ejemplo de formulaciones de helado *soft* variando la grasa como componente principal.

Goff y Hartel (2013) sugieren para el contenido graso no baje de 4 por ciento pues aumenta el riesgo de tener un helado de textura, cuerpo débil y con presencia de grandes cristales de hielo, asimismo si está por encima del 12 por ciento se dificultaría el batido en la máquina

congeladora. No obstante recomienda para la mayoría de los helados entre 4 – 7 por ciento de grasa.

**Cuadro 8: Ejemplo de formulaciones de mezclas base de helado *soft***

<b>Componentes</b>	<b>Porcentaje (%)</b>						
Grasa de leche	3,0	3,0	4,0	5,0	6,0	6,0	10,0
Sólidos no grasos lácteos	14,0	14,0	14,0	13,0	12,5	13,0	11,0
Azúcar	10,0	14,0	11,0	12,0	12,0	13,0	12,0
Sólidos de jarabe de maíz	4,0	---	4,5	4,0	4,0	---	3,0
Estabilizadores y Emulsificantes	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4
Sólidos Totales	31,5	31,5	34,0	34,4	34,9	32,5	36,4

FUENTE: Goff y Hartel (2013)

## 2.5.2 Características funcionales de los helados

### a) Viscosidad

La evaluación de la viscosidad es primordial en la mezcla base de helado, pues depende de esta evaluación para predecir algunas características sensoriales en el producto final y/o fenómenos durante su elaboración. Sin embargo, no hay un valor de viscosidad óptimo, pues depende de muchos factores debido a su composición y/o tecnología de elaboración. Por ejemplo, en máquinas de batido rápido se desea un helado con viscosidad baja; no obstante se puede decir por regla general, que a medida que aumente la viscosidad se producirá un helado más suave respecto a su textura y ocasionará una resistencia a la fusión incrementando el tiempo de batido (Goff y Hartel, 2013).

Razavi *et al.* (2013), Bahrapmparvar y Therani (2011), Akin y Akin (2009), Tehrani y Moeenfard (2008), Tzia *et al.* (2008), Goff y Vega (2005) y Aime *et al.* (2001) evaluaron referido a esta propiedad en diferentes tipos de helado: (a) la viscosidad aparente, la cual es una viscosidad puntual a una determinada velocidad de cizallamiento (por lo general cercano 100 1/s); (b) la curva reológica de la mezcla base de helado, para observar el comportamiento de la mezcla base, que por lo general es pseudoplástica según el modelo de la ley de la potencia, y (c) la viscosidad sensorial con un panel sensorial entrenado, usando una escala hedónica.

## **b) Overrun**

Goff y Hartel (2013) definen al *overrun* como «el cálculo industrial de aire incorporado a los postres helados». El *overrun* deseado depende de la industria a la cual se enfoque, por ejemplo un *overrun* de 25 por ciento, generalmente es empleado para un helado *super premium*, y un 110 por ciento es para un helado de línea económica.

La cantidad de aire adicionada en helados depende de la formulación, principalmente de los estabilizantes, emulsionante, contenido de sólidos totales y contenido graso; también depende del tipo de máquina, algunas tienen una bomba que incorpora un flujo de aire durante el batido, incitando que se logre un aumento en el *overrun* (Goff y Hartel, 2013; Marshall *et al.* 2003). Para helados *soft*, Goff y Hartel (2013) mencionan que el rango de *overrun* está entre 30 – 60 por ciento para máquinas sin compresor de aire, en cambio para máquinas con bomba de aire se puede llegar hasta 100 por ciento de *overrun*.

## **c) Emulsión**

Lal *et al.* (2006) define a la emulsión como «una dispersión de gotitas de un líquido inmisible en otro con la presencia de moléculas estabilizadoras (emulsionantes)». Emulsionantes de bajo peso molecular (mono- y diglicéridos) y estabilizadores no lácteos (alginatos, carragenanos, gomas y geles) se utilizan en muchos productos lácteos.

Uno de los defectos usuales en un helado es la desestabilización de la emulsión, en donde ocurre la sedimentación de la grasa y los insumos, esto se debe a diversos factores ya sea composición, tiempo de envejecimiento, exceso de cizalla en la batidora, entre otras. Al momento de formular un helado se debe evaluar la emulsión de la mezcla, con el fin de observar si es estable, y a su vez, garantizar que el producto final sea homogéneo; de lo contrario, reformular aumentando la cantidad de estabilizantes y/o emulsionantes, o también reduciendo la cantidad de grasa sobre todo cuando sea alta (mayor a 12 por ciento) (Goff y Hartel, 2013).

## **2.6 Diseño de mezclas**

El diseño de mezclas es un caso especial de los experimentos de superficie de respuesta en el que la respuesta depende de las proporciones de los diversos componentes, pero no de las cantidades absolutas. El diseño de mezclas se define como «una estrategia experimental y

de análisis que permite resolver el problema de encontrar las condiciones de operación óptimas o deseadas para un proceso, es decir, aquellas que dan por resultado “valores óptimos o valores objetivos” de una o varias características del producto» (Gutiérrez y De la Vara, 2008; Oehlert, 2010).

Hare (1974) citado por Nuñez (2002), recomienda en el desarrollo de un producto, emplear un diseño de mezclas cuando las proporciones en que se mezclan los ingredientes, constituyan las variables de entrada o independientes. Como resultado de un diseño de mezclas es posible obtener un modelo matemático que permita determinar el efecto de los ingredientes sobre las características del producto y predecir los valores de las variables de respuestas a partir de los niveles de las variables independientes (Nuñez, 2002).

La particularidad del diseño de mezclas es que los niveles de los componentes o factores son dependientes y todas suman una cantidad definida. El resultado del planteamiento del diseño, son las diferentes formulaciones a evaluar, en donde se aplica una metodología de planeación y un análisis que asegura obtener conocimiento y soluciones, evitando la investigación subjetiva de prueba y error (Gutiérrez y De la Vara, 2008).

Gutiérrez y De la Vara (2008) afirman que «el objetivo del diseño de experimentos con mezclas es cuantificar la influencia que tienen los diferentes ingredientes sobre la respuesta, tanto en forma individual como en su acción conjunta con otros ingredientes. Se trata de modelar esta respuesta para predecirla en cualquier formulación posible, y utilizar los modelos con el propósito de encontrar la composición de la mezcla que proporcione mejores resultados (optimizar)». Para cumplir con estas tareas es preciso tomar en cuenta las particularidades de los experimentos con mezclas, pues los diseños factoriales tradicionales no son aplicables, los polinomios estándar (modelos) no son adecuados (algunos de sus parámetros carecerán de sentido) y en cuanto al análisis, las pruebas estadísticas tradicionales de los modelos pueden generar confusiones.

Cornell (2011) afirma que «en un experimento de mezclas el experimentador selecciona un número de mezclas diferentes para su estudio y varias proporciones de dos o más ingredientes en cada una de las mezclas». La fracción de las proporciones de los ingredientes es medida por volumen, por pesos o por fracción molar. Cuando es expresada como fracciones de una mezcla, las proporciones ( $x_i$ ), son no negativas y todas suman uno, así mismo los componentes del experimento de mezclas están sujeto a las restricciones:

$$0 \leq x_i \leq 1 \quad i=1,2,\dots, q \text{ y } \sum_{i=1}^q X_i = 1 \quad (1)$$

Donde  $q$  es el número de componentes (variables) en estudio de la mezcla.

La cantidad de dimensiones de la superficie de respuesta a modelar resultan de  $q-1$  componentes. Para  $q=2$  es una recta  $x_1 + x_2 = 1$ , para  $q = 3$  es un triángulo equilátero, etc. En la Figura 6 se muestra la superficie de una mezcla para  $q = 2$  y  $q = 3$ .

Dentro del diseño de mezclas existen tres tipos de diseño: *Simplex Lattice*, *Simplex Centroide* y Axial, los dos primeros son diseño de contorno, con la diferencia de que en el tipo *simplex centroide* aumenta un punto central de mezcla dentro de la superficie, en cambio el diseño axial es un diseño donde los puntos de mezcla se encuentra en el interior de la superficie (Cornell, 2002, 2011).

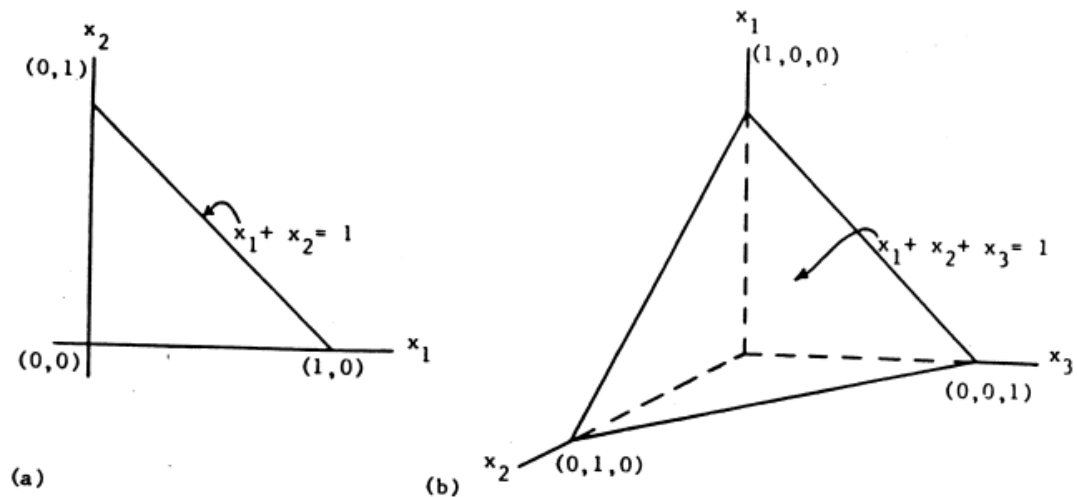
### 2.6.1 *Simplex lattice*:

Simplex se refiere a la región geométrica en el espacio, que alberga los puntos que corresponden a las combinaciones de las proporciones de los ingredientes ( $q$ ), esta región puede ser una recta (dos componentes), un triángulo (tres componentes), etc. (Figura 6). Lattice se refiere al polinomio que va a describir el comportamiento de la respuesta observada sobre la región simplex.

En un diseño Simplex-lattice para encontrar el polinomio que explique la respuesta observada se tiene que hallar los puntos de estudio de la superficie a estimar y sus combinaciones. Cornell (2011) afirma que para hallar los puntos de estudio de la superficie a estimar se toma en cuenta las proporciones asumidas por cada componente ( $x_i$ ) y la cantidad de puntos de estudio ( $m$ ) de la superficie a estimar, los cuales resultan de las siguientes relaciones:

$$X_i = 0, 1/m, 2/m, \dots, m/m \quad (2)$$

$$\text{Cantidad de puntos de estudio} = (q+m-1)! / m! (q-1)! \quad (3)$$



**Figura 6: Representación geométrica de un diseño de experimentos con mezclas**

FUENTE: Box y Draper (2007).

Por ejemplo para un  $\{q=2, m=4\}$  simplex-lattice, donde el espacio es una recta, los puntos de estudio son:

$$X_i = 0, 1/4, 1/2, 3/4, 1.$$

$$\text{Cantidad de combinaciones} = (2+4-1)! / 4! (2-1)! = 5! / 4! = 5$$

$$\text{Puntos de estudio } (X_1, X_2) = (1, 0), (0, 1), (1/2, 1/2), (1/4, 3/4), (3/4, 1/4).$$

Ya con los puntos de estudio se procede a la elección del modelo de ajuste, donde se escoge el grado del polinomio, que podrá ser lineal cuadrático, cúbico, cúbico especial, etc.

Lineal:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^q \beta_i X_i \quad (4)$$

Cuadrático

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^q \beta_i X_i + \sum_{i=1}^q \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j}^q \beta_{ij} X_i X_j \quad (5)$$

Para facilitar los cálculos Scheffe (1958, 1963) el creador del método de diseño de mezclas citado por Cornell (2011), Adeyeye y Oyawale (2008), Oehlert (2010) propuso convertir estos polinomios a polinomios canónicos:

Lineal:

$$y = \sum_{i=1}^q \beta_i X_i \quad (6)$$

Cuadrático:

$$y = \sum_{i=1}^q \beta_i X_i + \sum \sum_{i<j}^q \beta_{ij} X_i X_j \quad (7)$$

Cubico Especial

$$y = \sum_{i=1}^q \beta_i X_i + \sum \sum_{i<j}^q \beta_{ij} X_i X_j + \sum \sum \sum_{i<j<k}^q \beta_{ijk} X_i X_j X_k \quad (8)$$

Cubico Completo

$$y = \sum_{i=1}^q \beta_i X_i + \sum \sum_{i<j}^q \beta_{ij} X_i X_j + \sum \sum \sum_{i<j<k}^q \beta_{ijk} X_i X_j X_k + \sum \sum_{i<j}^q \delta_{ij} X_i X_j (X_i - X_j) \quad (9)$$

El modelo que más se ajuste a la respuesta dependerá de la significancia ( $p\text{-value} < 0,05$ ) y/o el coeficiente de determinación  $R^2$  (Gutierrez y De la Vara, 2008). La estimación de los coeficientes ( $\beta_i$ ,  $\beta_{ij}$ , y/o  $\beta_{ijk}$ ) en cada modelo, se realiza resolviendo un sistema de ecuaciones mediante el método de mínimos cuadrados (*least - squares*) no obstante el sistema de ecuaciones surge reemplazando cada punto de estudio y su respuesta de estudio observada ( $y_u$ ) (Cornell, 2011, 2002).

Para la estimación y caracterización de la superficie de respuesta Gutierrez y De la Vara (2008) recomiendan apoyarse de un *software* estadístico.

## 2.7 Optimización de múltiples respuestas

Bowless y Montgomery (1972) citados por Nuñez (2002) mencionan que para obtener el mejor producto implica encontrar el balance de ingredientes que optimice su calidad global es decir, determinar los niveles óptimos de los componentes de la mezcla para la calidad global de producto. La calidad global del producto implica niveles óptimos de determinadas características del producto (variables respuesta).

Existen diversos métodos de optimización, Nuñez (2002) y Gutiérrez y De la Vara (2008) mencionan entre ellos a la superficie de respuesta extendida, el método de distancia generalizada, el método de regiones de confianza restringida, el método de minimización de la suma de cuadrados de las desviaciones y el método de la función de deseabilidad. En la presente investigación se usó el método de la función deseabilidad.

### 2.7.1 Método de la función deseabilidad

Gutiérrez y De la Vara (2008) afirman que este método fue propuesto originalmente por Harrington (1965) mejorado por Derringer y Suich (1980) y Derringer (1994), el cual consiste en definir una función en el espacio de factores que estima la deseabilidad global (DG) del producto en cada punto; de esta forma, convierte el problema de optimización multivariado en un problema de optimización univariado. Basta maximizar DG para obtener el punto óptimo buscado.

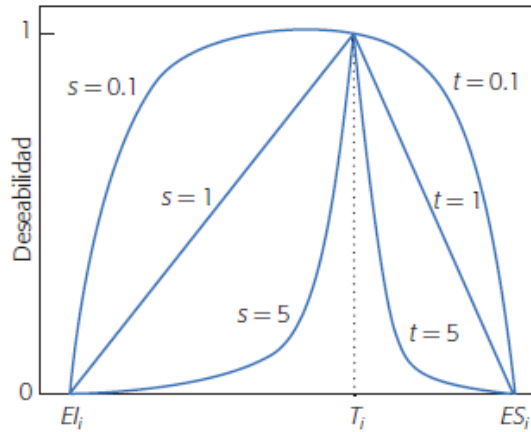
Gutiérrez y De la Vara (2008) indican que para definir la DG se requiere que todas las respuestas observadas ( $\hat{Y}$ ) estén en la misma escala, y esto se logra transformando cada respuesta predicha ( $\hat{Y}_i(x)$ ) en un valor de deseabilidad individual  $d_i(x)$  que cae en el intervalo  $[0, 1]$ . De esta manera,  $d_i(x)$  mide la deseabilidad del punto  $x = (x_1, x_2, \dots, x_k)$  con respecto a la variable  $\hat{Y}_i$ . La transformación  $d_i(x)$  se hace en términos de las especificaciones y del valor objetivo de cada  $Y$ . En particular, si la variable  $\hat{Y}_i$  tiene por especificaciones inferior y superior a  $EL_i$  y  $ES_i$ , y su valor objetivo o nominal es  $T_i$ , se define la transformación  $d_i$  como:

$$d_i(x) = \begin{cases} \left[ \frac{\hat{Y}_i(x) - EL_i}{T_i - EL_i} \right]^s & \text{si } EL_i \leq \hat{Y}_i(x) \leq T_i \\ \left[ \frac{\hat{Y}_i(x) - ES_i}{T_i - ES_i} \right]^t & \text{si } T_i < \hat{Y}_i(x) \leq ES_i \\ 0 & \text{si } \hat{Y}_i(x) < EL_i \text{ o } \hat{Y}_i(x) > ES_i \end{cases} \quad (10)$$

Donde  $s$  y  $t$  son exponentes que sirven para elegir la forma deseada de la transformación y con ello reflejan los deseos del experimentador sobre cada  $\hat{Y}$ . Se toman valores grandes (digamos  $s, t \geq 10$ ) cuando se quiere que la deseabilidad  $d_i$  sólo tome valores grandes cuando  $\hat{Y}_i$  cae cerca de su valor objetivo. Se toman valores pequeños para  $s$  y  $t$  ( $s, t \leq 0.1$ ) si se quiere



que cualquier valor de  $\hat{Y}_i$  dentro del intervalo  $[E_i, ES_i]$  sea igualmente deseable. El valor por omisión de estos exponentes es 1 lo cual sugiere un incremento lineal de la deseabilidad hacia el valor objetivo (Figura 7).



**Figura 7: Función de los exponentes para obtención de  $d_i$  (deseabilidad)**

FUENTE: Gutierrez y De la Vara (2008)

Una vez calculadas las  $m$  deseabilidades individuales sobre el punto  $\mathbf{x}$ , la deseabilidad global (DG) de  $\mathbf{x}$  es definida por la media geométrica ponderada:

$$DG(\mathbf{x}) = (d_1^{w_1} \times d_2^{w_2} \times \dots \times d_m^{w_m})^{1/\sum w_i} \quad (11)$$

Donde los pesos  $w_i$  son constantes que permiten balancear la importancia relativa de cada variable; mientras más grande es el peso dado a una variable con respecto a las restantes, más grande será la exigencia para que el punto óptimo global beneficie a tal variable. Si todas son igualmente importantes,  $w_i = 1$  para  $i = 1, 2, \dots, m$ , y la DG toma la forma siguiente:

$$DG(\mathbf{x}) = (d_1 \times d_2 \times \dots \times d_m)^{1/m} \quad (12)$$

Gutiérrez y De la Vara (2008) indican que el valor óptimo ( $T_i$ ) o deseado es cuando se maximiza la función  $DG(\mathbf{x})$ , para lo cual se recurre a algún método numérico, asimismo recomiendan que para el cálculo se apoyen de un *software* estadístico.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Lugar de ejecución**

El presente trabajo de investigación se realizó en la planta piloto de alimentos, laboratorio de fisicoquímica, laboratorio de investigación y laboratorio de ingeniería de la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM).

#### **3.2 Materiales y equipos**

##### **3.2.1 Materia Prima e insumos**

- Papa (*solanum tuberosum*) var. única proveniente de la UNALM del programa de Raíces y tuberosa de la cosecha octubre 2013.
- Leche en polvo descremada. Dairy American. USA.
- Crema de leche al 37 por ciento de grasa. LAIVE. Perú.
- Azúcar blanca refinada industrial.
- Emulsionantes Puratos. Perú.
- Carboximetil celulosa CP KELKO.USA.
- Almidón Comercial de papa > 99 por ciento de pureza. AVEBE. Holanda.
- Premezcla de helado *soft*. MONTANA. Perú

##### **3.2.2 Materiales**

Los materiales de vidrio utilizados fueron: bureta, Erlenmeyer, fioas, probetas, pipetas, tubos de ensayo con tapa, embudos, kitasato, termómetro, beakers, matraces con tapa, pipetas, baguetas, crisoles gooch, y otros materiales de laboratorio necesarios para los análisis respectivos.

### 3.2.3 Equipos

- Agitador magnético. Modelo 46720-26. Lova. USA.
- Balanza analítica. Explorer OHAUS® Corporation. USA.
- Baño de agua con agitación. GFL 1083. Germany.
- Bomba al vacío. VACUUBRAND GMBH + CO. Germany.
- Centrífuga. NF 400 – NÜVE. Turquía.
- Centrífuga. IP – 22. NITOIT FEDELLEL. Hungría.
- Cocina eléctrica Insegesa. Perú.
- Espectrofotómetro UNICO UV 2100. USA.
- Estufa de aire caliente. MEMMERT®. Germany.
- Equipo semi. MicroKjeldahl. USA.
- Agitador. OV5. Velp® Scientifica. USA.
- Máquina de helados *soft*. Taylor Modelo 161-4. USA.
- Microscopio electrónico. LEICA DM 750. GERMANY.
- Molinex. TH 9001. THOMS. Chile.
- Mufla. GALLENKAMP. FR520. UK.
- Potenciómetro Hanna. USA.
- Refrigeradora-Congeladora. General Electric®. China.
- Reómetro BROOKFIELD RV DV-III ULTRA, USA.

### 3.2.4 Reactivos

Anhídrido acético (Merck®. Germany), sulfato de sodio (Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, Sigma Aldrich, USA), Hidroxido de sodio (Merck® Germany), ácido sulfúrico y otros necesarios para los métodos respectivos.

## 3.3 Métodos de análisis físicos y químicos

### 3.3.1 Composición proximal

#### a) Determinación de Humedad

Se realizó según el método recomendado por la AOAC (1995).

**b) Determinación de Cenizas**

Se realizó según el método recomendado por la AOAC (1995).

**c) Determinación de Proteína Total**

Se realizó según el método semimicro Kjeldahl recomendado por la AOAC (1995).

**d) Determinación de Grasa (extracto etéreo)**

Método Soxhlet recomendado por la AOAC (1995).

**e) Determinación de Carbohidratos**

Se obtuvo por diferencia del contenido de ceniza grasa y proteína.

### **3.3.2 Claridad de geles de almidón**

Se midió la claridad de geles de almidón, usando la metodología de Bello *et al.* (2002). Para ello se suspendió 0,2 g de una muestra de almidón en 5 ml de agua utilizando tubos de ensayo con tapa, los cuales se colocaron en un baño de agua a 95 °C por 30 min. Los tubos se agitaron vigorosamente cada 5 min. Después de enfriar a la temperatura ambiente se determinó el porcentaje de transmitancia (%T) a 650 nm en un espectrofotómetro, en donde se utilizó agua como testigo. Las muestras se almacenaron a 4 °C, midiendo el %T a 0, 24, 48, 72 h.

### **3.3.3 Estabilidad al congelamiento del almidón**

La estabilidad a la congelación de almidón se determinó mediante el método de Lawal *et al.* (2008). Una suspensión acuosa de almidón (5 g en base seca de almidón / 100 g) se calentó a 95 °C con agitación constante durante 1 h. El gel se centrifugó a 1000 g durante 10 min para eliminar el agua libre. El agua libre (sobrenadante) se decantó y los tubos que contienen el gel de almidón se sometió a 10 ciclos de congelación-descongelación, seguido por centrifugación a 4000 rpm durante 30 min (la congelación se realizó a -18 °C por 24 h y la descongelación a 30 °C durante 4 h). Se midió el porcentaje de agua separada después de cada ciclo.

La estabilidad representa la sinéresis, que es expresada el por ciento en peso de agua separada entre el peso total de la muestra y se calculó de la siguiente manera:

$$\% \text{ Sinéresis} = \frac{\text{agua separada (g)} \times 100}{\text{pesos total de la muestra (g)}} \quad (13)$$

### 3.3.4 Grupos acetilos y grado de sustitución del almidón modificado por acetilación

Se determinó mediante la metodología de JEFCA (2001), reportado por Kadivar *et al.* (2009); Raina *et al.* (2006) y Rivas (2012). Se pesó 1 g de almidón nativo y modificado (bs) y se virtió en un matraz Erlenmeyer de 250 ml. Se agregó 50 ml de agua destilada, unas gotas de fenoftaleina y se neutralizó con NaOH 0,1 N hasta que dio un color ligeramente rosado. Después se adicionó 25 ml de NaOH 0,45 N y se agitó vigorosamente la suspensión con un agitador magnético durante 30 min. Transcurrido el tiempo, las muestras saponificadas se titularon con HCl 0,2 N usando fenoftaleina como indicador. Se tituló al mismo tiempo un blanco usando el almidón nativo (whistler, 1997 citado por Rivas, 2012).

El porcentaje de acetilo representa el por ciento en peso de grupos acetil en el almidón en base seca y se calculó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Acetil} = \frac{(\text{mL blanco}) - (\text{mL muestra}) \times N \text{ del HCl} \times 0.043}{\text{pesos total de la muestra b.s (g)}} \times 100 \quad (14)$$

El grado de sustitución es definido como el número promedio de sitios por unidad de glucosa que posee un grupo substituyente y se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Grado de sustitución (GS)} = \frac{162 \times \% \text{ de acetilación}}{4300 - (42 \times \text{acetilación})} \quad (15)$$

### 3.3.5 Viscosidad aparente del gel de almidón

Se determinó mediante la metodología de CYTED (2000). En un matraz Erlenmeyer de 500 ml se preparó una suspensión de almidón al 4 por ciento de base seca con agua destilada a 50 ° C y se colocó en un baño de agua a 95 ° C con agitación constante por 30 min. Terminado el tiempo se enfrió con agua helada a hasta que alcance la temperatura de 20 ° C en un periodo no mayor a 30 min y se midió la viscosidad con el reometro Broofield RV

DV – III ULTRA utilizando el *spindle* SC4 – 27 a una velocidad de 7 rpm y se reportaron los resultados en centipoises (cP).

### 3.3.6 Tamaño de partícula

Se determinó mediante la metodología de Kaur *et al.* (2007) con algunas modificaciones. Se preparó una solución de almidón al 1 por ciento w/w, luego se vertió una gota en el porta objeto y se cubrió con el cubreobjeto. Después, se colocó una gota de aceite en el cubreobjeto para una mejor visualización entre la muestra y el microscopio, luego se observó con el lente objetivo de 100 X del microscopio, finalmente se tomó la fotografía con las siguientes dimensiones 640 pixel x 480 pixel (51,2 µm x 38,4 µm).

### 3.3.7 Overrun del helado

Se determinó el overrun basándose en la metodología descrita por Corvitto (2004) con algunas modificaciones. Se llenó en un vaso de 50 ml con mezcla sin congelar de base de helado (MSC) y se anotó el peso, después de batir la muestra y congelarla se volvió a llenar en el mismo vaso con mezcla congelada (MC) y se registró. Para luego calcular el overrun de la siguiente manera:

$$\% \text{ Overrun} = \frac{MSC (g) \times 100}{MC (g)} \quad (16)$$

### 3.3.8 Viscosidad aparente de la mezcla base de helado (MBH)

Se determinó la viscosidad aparente siguiendo la metodología descrita por López y Sepúlveda (2012) con algunas modificaciones. Se analizó la viscosidad con el reómetro Brookfield RV DV-III ULTRA, *spindle* SC4 – 21 a 100 rpm para determinar la viscosidad de las muestras después de la maduración a la temperatura de 4°C. Los resultados se expresaron en centipoises (cP).

### 3.3.9 Determinación de las constantes reológicas (*n* y *K*)

Se determinó el índice de comportamiento reológico (*n*) y el coeficiente de consistencias (*K*) siguiendo la metodología descrita por López y Sepúlveda (2012) con algunas modificaciones. En la muestra ya madurada se midió los esfuerzos de corte y las velocidades de corte a una velocidad de 90 rpm con incrementos de 5 rpm cada 10 segundos, para luego

ajustarlas al modelo de la ley de la potencia. Para lo cual se usó el reómetro Brokfield RV DV-III ULTRA con el *spindle* SC4 – 21.

### 3.3.10 Estabilidad de emulsión de la mezcla base de helado (MBH)

Se determinó la estabilidad de emulsión mediante la metodología descrita por Moghaddam *et al.* (2013), con algunas modificaciones. Se pesó 10 g de la MBH y se llevó a un tubo de ensayo con tapa, después se centrifugó a 3000 rpm por 15 min, para luego inmediatamente retirar el sobrenadante, y se registró la pérdida de peso. La estabilidad se calculó de la siguiente manera:

$$\% \text{ Estabilidad de emulsion} = \frac{\text{Muestra después de centrifugar sin sobrenadante (g)} \times 100}{\text{Peso de muestra inicial (g)}} \quad (17)$$

### 3.3.11 Densidad relativa de la mezcla base de helado y el helado

La densidad relativa se obtuvo mediante el método del picnómetro, y la densidad del helado se realizó mediante el cálculo de la fórmula descrita por Goff y Hartel (2013).

$$\text{Densidad del Helado (g/L)} = \frac{\text{Densidad relativa de la mezcla base de helado (g/L)}}{\frac{\text{Overrun}}{100} + 1} \quad (18)$$

### 3.3.12 Análisis sensorial del helado

El análisis sensorial para determinar la aceptabilidad del helado se basó en la metodología descrita por Saavedra (2009) con algunas modificaciones. Se trabajó con 96 jueces no entrenados para evaluar la aceptación general mediante una escala hedónica estructurada con valor de 1 al 9 (Anexo 1), para lo cual se les brindó una porción de alrededor de 50 g de helado base con sabor a vainilla.

La evaluación sensorial se realizó en un local comercial ubicado en Pamplona Alta – San Juan de Miraflores, entre las 10:00 am y 1:00 pm.

### 3.3.13 Determinación del costo del helado *soft*

El costo de la formulación de los insumos de una mezcla base de helado se ve influenciado por el precio individual de cada uno de sus componentes. Para lo cual se comparó el costo

del helado *soft* con y sin almidón modificado, tomando los precios de los insumos a nivel de distribuidor mayorista. El precio del almidón modificado se tomó de los que actualmente se venden en el mercado y que son importados.

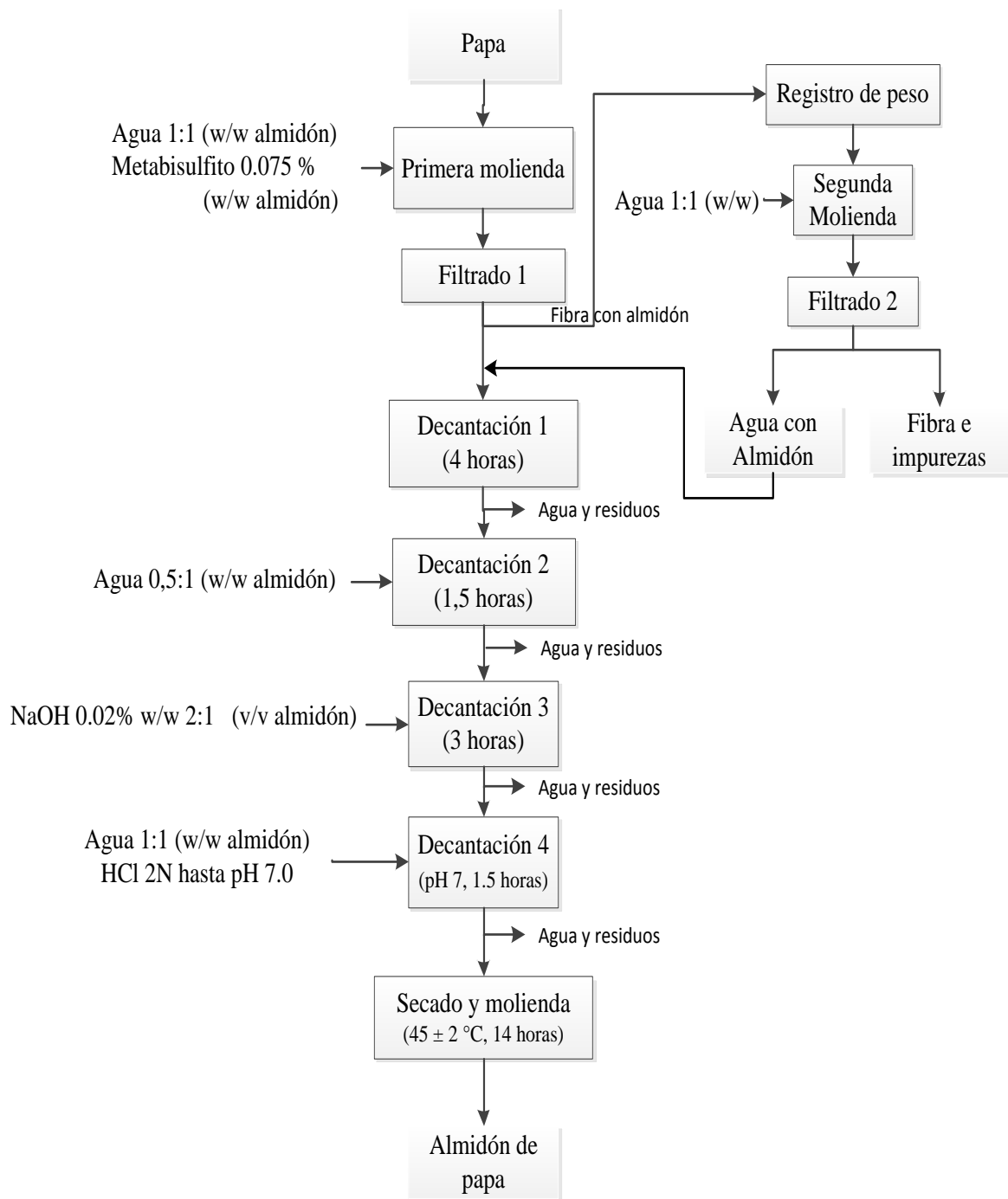
### 3.4 Metodología experimental

#### 3.4.1 Extracción del almidón

Se realizó la extracción usando la metodología de extracción de almidón por decantación descrita por Melian (2010) con algunas modificaciones basadas en Salwa *et al.* (2010) y Aprianita *et al.* (2009). A continuación se detalla el procedimiento que se realizó y se muestra el flujo de operaciones en la Figura 8:

- **Primera molienda:** En una licuadora se adicionó las papas de var. Única (previo pesado) y una solución de metabisulfito de sodio al 0.075 por ciento en relación de 1:1.
- **Filtrado 1:** La mezcla obtenida de la primera molienda se pasó por una tela filtrante, después se adicionó agua para arrastrar la mayor cantidad de almidón presente en la tela.
- **Registro de peso:** Se pesó lo que queda en la tela filtrante.
- **Segunda molienda:** La muestra retenida en la tela filtrante se mezcló con agua (1:1) en una licuadora.
- **Filtrado 2:** La masa que se obtiene de la segunda molienda se pasó nuevamente por la tela filtrante y se adicionó agua destilada para una mayor extracción del almidón. Posteriormente el filtrado se mezcló con lo obtenido en el primer filtrado.
- **Decantación 1:** La muestra se dejó decantar por 4 horas a temperatura ambiente hasta obtener una capa firme de almidón en el fondo.
- **Decantación 2:** Finalizada la primera decantación, se retiró el sobrenadante y se agregó la mitad de volumen de agua respecto al almidón y se dejó por 1,5 h. en donde se obtuvo un sobrenadante claro.
- **Decantación 3:** Luego de retirar el sobrenadante se agregó una solución de NaOH al 0.02 por ciento en cantidad de dos veces su volumen para la solubilización de proteínas, posteriormente se dejó decantar por 3 horas.





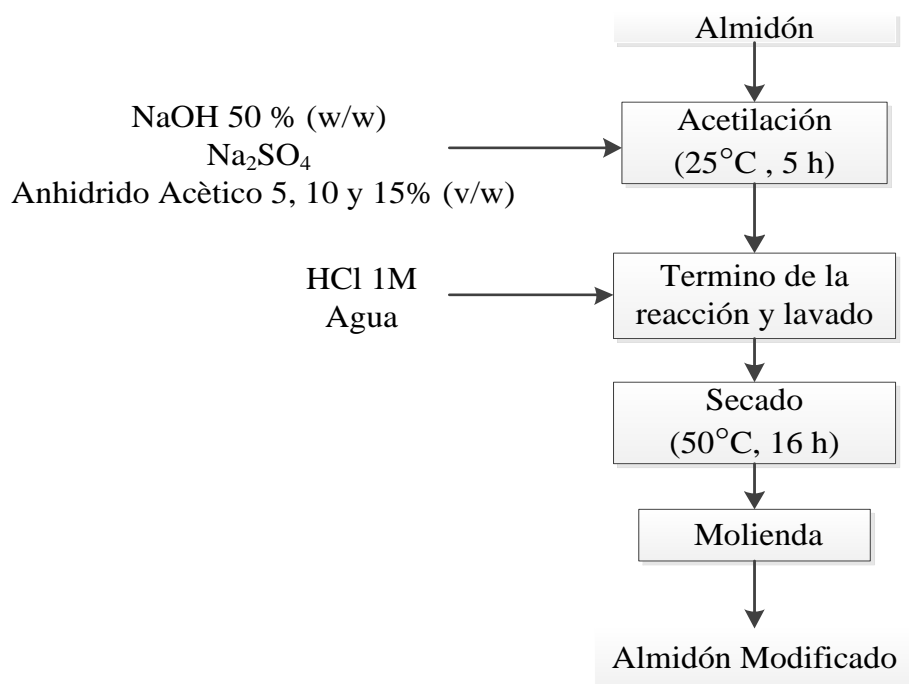
**Figura 8: Flujo de operaciones de la extracción de almidón de papa**

- **Decantación 4:** Luego de retirar el sobrenadante se agregó agua en proporción 1:1 almidón y se ajustó el pH con HCl 2 N hasta obtener un pH 7.0. después la muestra se dejó decantar por 1,5 h. y se eliminó el sobrenadante.

- **Secado y molienda:** El decantado se depositó en un papel filtro y se llevó a una estufa a  $45 \pm 2^\circ \text{C}$  por 14 horas, después de secado se retiró, molió y pasó por un cernidor para deshacer los grumos.

### 3.4.2 Modificación del almidón por acetilación

Se procedió a modificar el almidón nativo según la metodología planteada en la Figura 9, la cual se basó en métodos utilizados por Rincon *et al.* (2007); Raina *et al.* (2006); Kadivar *et al.* (2009) con algunas modificaciones.



**Figura 9: Flujo de Operaciones de Modificación de almidón de Papa**

- **Acetilación:** Se usó anhídrido acético como agente de reacción y se emplearon niveles de 5, 10 y 15 por ciento para su evaluación (Takahiro *et al.* 2009; Bello *et al.*, 2002; Raina *et al.*, 2006; Nathaniel *et al.*, 2012; Bello *et al.* 2010; Ayucitra, 2012; Kadivar *et al.*, 2009). Se pesó 200 g base seca de almidón nativo y 35 g de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  para disolverlo en 400 ml de agua a temperatura ambiente, posteriormente

se llevó a pH 8-8.4 con una solución de NaOH 50 por ciento (w/w). Luego, se adicionó el anhídrido acético (5, 10 y 15 por ciento con respecto a la cantidad de almidón % v/w) tratando de mantener el pH (8-8,4) durante la reacción (25 °C por 5 horas).

- **Termino de la reacción y lavado:** Terminada la reacción se llevó a pH 7 con HCl 1 M y luego se realizaron cuatro lavados sucesivos con agua. El lavado se realizó con agua en proporción de 1:1, y para retirar el agua de lavado se empleó una centrífuga a 2000 rpm por 15 min.
- **Secado y molienda:** Se secó durante 16 horas a 50 °C en la estufa, el almidón modificado se molió con el molinex y se pasó por un cernidor para deshacer los grumos.

### 3.4.3 Elaboración del helado tipo *soft*

En esta etapa primero se determinó la composición (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) y la formulación base del helado *soft* (Cuadro 10) teniendo en cuenta las investigaciones y publicaciones de Razavi *et al.* (2010), Goff y Vega (2005), Goff y Hartel (2013) y Corvitto (2006).

**Cuadro 9: Composición del helado *soft***

Componentes	Porcentaje w /w %
Grasa <sup>d</sup>	4 %
Azucares <sup>b</sup>	15.5 %
Sólidos Lácteos no Grasos <sup>c</sup>	< 11.3%
Estabilizantes (CMC) <sup>b, e</sup>	0.3 %
Emulsificantes <sup>d</sup>	0.3 %
Sólidos Totales <sup>a</sup>	27 % – 30%

FUENTE: <sup>a</sup> Goff y Hartel (2013), <sup>b</sup> Razavi *et al.* (2010), <sup>c</sup> Corvitto (2006), <sup>d</sup> Goff y Vega (2005), <sup>e</sup> Bahrapmparvar y Therani (2011).

**Cuadro 10: Fórmula base para helado *soft***

Ingredientes	Peso (g)	Grasa	Azúcar	Sólidos Lácteos no grasos	Sólidos Totales
Leche entera	500	15		40	55
Crema de leche 37%	68	25,1		3	27,9
Leche en polvo descremada*	52			52	52
Almidón modificado*					
Sacarosa	155		155		155
Estabilizante*	3				3
Emulsificante	3				3
Agua	219				
	1000	40,1	155	95	295,9
Composición	%	4,01	15,5	9,5	29,6
Recomendados por Goff y Hartel (2013)		4 – 10 %	14 – 18%	< 11.3%	>27%

\* La cantidad de almidón modificado y leche en polvo descremada dependerá del diseño experimental el cual sustituirá en el mismo peso a la leche en polvo descremada.

FUENTE: Elaboración propia según metodología de Corvitto (2006)

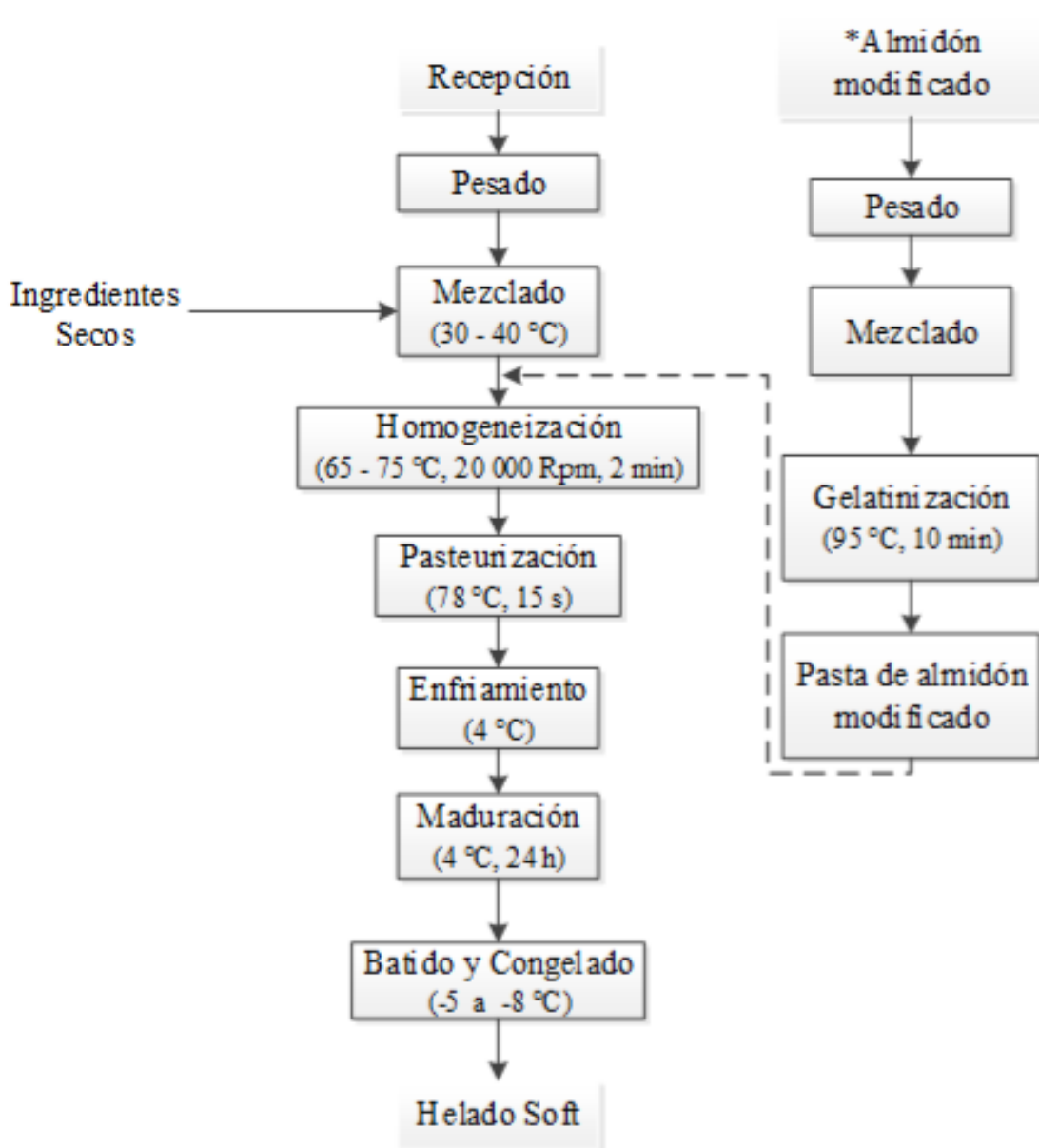
Luego se planteó el flujo de operación para la elaboración del helado *soft* con y sin almidón modificado (Figura 10), según de Gutiérrez (2008), Razavi *et al.* (2010), Goff y Vega (2005), Goff y Hartel (2013).

A continuación se describe el flujo de operaciones planteado:

- **Recepción de materia prima:** Se controló que la materia prima sea de buena calidad y no presente ninguna característica fuera de lo normal que pueda influir en la parte experimental de la investigación.
- **Pesado:** Los insumos fueron pesados y colocados en recipientes limpios para ser mezclados.
- **Mezclado:** El mezclado se inició con los ingredientes líquidos, esta mezcla se fue calentando. Entre 30 – 40 °C, se adicionó con agitación constante los insumos secos (previamente mezclados).

\*Cuando se realizó el helado con almidón modificado este se añadió en forma de gel para lo cual fue mezclado con agua (según formulación) y se llevó a 95 °C por 30 minutos. La cantidad de agua a ser añadida varió según el diseño experimental (sección 3.4.4) en donde sólo se varió el contenido de estabilizante, almidón modificado y leche en polvo descremada de la formulación estándar de helado *soft*. Estos cambios en la formulación se presentan en el Cuadro 11.

- **Agitación:** La mezcla se siguió calentando y al alcanzar una temperatura entre 65 – 75 °C se agitó a 20 000 rpm durante dos minutos.



**Figura 10: Flujo de Operaciones para la elaboración de un helado**

\* Sólo cuando se elaboró el helado *soft* con almidón modificado.

- **Pasteurización:** La mezcla se pasteurizó a 78 °C por 15 segundos, cumpliendo así el tratamiento térmico para helados recomendado por Goff y Hartel (2013).
- **Enfriamiento:** La mezcla pasteurizada se enfrió a 4 °C con agua helada, de acuerdo a lo descrito por Guven *et al.* (2003) citados por Gutiérrez (2008).
- **Maduración:** La mezcla fría (4 °C) fue almacenada en refrigeración a 4 °C ± 1 °C por 20 ± 4 horas tal como lo señalan Goff y Hartel (2013).
- **Batido y congelado:** La mezcla madurada, fue batida y congelada en la máquina de helado *soft*, hasta obtener una consistencia pastosa.

**Cuadro 11: Formulaciones de helado *soft* con almidón modificado**

Nomenclatura	Estabilizante (% Carboximetilcelulosa)*	Almidón Modificado (%)*	Leche en Polvo Descremada (% de sólidos lácteos no grasos)*
Helado <i>Soft</i> 0	0,3	0	5,20
Helado <i>Soft</i> 1	0,225	0,75	4,45
Helado <i>Soft</i> 2	0,15	1,5	3,70
Helado <i>Soft</i> 3	0,075	2,25	2,95
Helado <i>Soft</i> 4	0	3	2,20

\* Porcentajes (w / w por litro de mezcla base de helado)

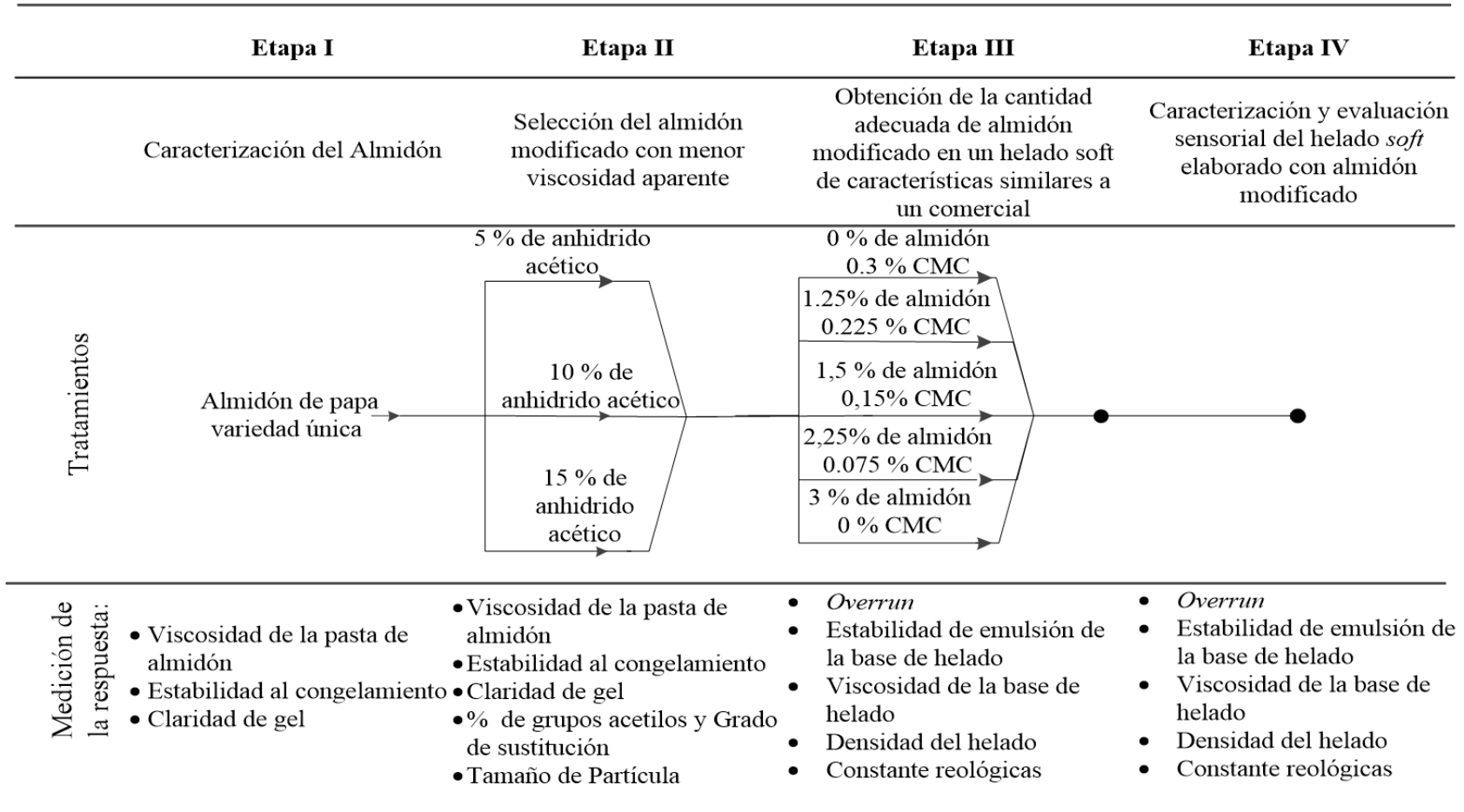
#### 3.4.4 Esquema experimental

El esquema experimental para el desarrollo de la presente investigación se muestra en el Cuadro 12. En cada etapa se describe el diseño experimental a usar para la comparación de los resultados.

##### a) Etapa I: Caracterización del almidón nativo

Se realizó la extracción del almidón de la papa var. Única (cosechada en los campos de la Universidad Nacional Agraria La Molina), con el fin de la obtención de materia prima para la tesis y a su vez se caracterizó (rendimiento, claridad, estabilidad al congelamiento-deshielo, y viscosidad aparente).

**Cuadro 12: Esquema experimental**



**b) Etapa II: Selección del almidón modificado con menor viscosidad aparente**

Se realizó un proceso de modificación química al almidón nativo y un almidón comercial importado de la marca Avebe, basado en la acetilación a diferentes niveles (5, 10 y 15 por ciento), en donde para la evaluación del efecto de la modificación se planteó un diseño de bloques completo al azar (DBCA) (Cuadro 13). Se determinaron la viscosidad aparente de la mezcla base de helado *soft* y la estabilidad al congelamiento – sinéresis. Además se midió el porcentaje de grupos acetilos y el grado de sustitución (GS) de los almidones modificados con el fin de descartar al que sobre pase los límites permitidos (Cuadro 14), comparándose también por el mismo diseño de bloques al azar (Cuadro 13). Asimismo se escogió el almidón modificado con mejores características funcionales para la aplicación en un helado *soft*.

**c) Etapa III: Obtención de la cantidad adecuada de almidón modificado en un helado *soft***

Se planteó el desarrollo de una formulación de mezcla base para helado *soft* con almidón modificado por acetilación, cuyas características sean similares a la de una mezcla base de helado *soft* comercial. En donde para encontrar esta formulación se usó un diseño de mezclas tipo *simplex lattice*.

Debido a la naturaleza del almidón modificado (ingrediente que aporta viscosidad, solidos totales), en este diseño de mezclas se consideró lo siguiente:

- Dos componente que varíen para cada mezcla en estudio ( $q=2$ ), los cuales fueron la cantidad almidón modificado y la cantidad de estabilizante (variables que aportan viscosidad).
- Dos variables respuesta, la viscosidad de la mezcla base de helado *soft* y el *overrun* del helado *soft*.
- $m = 4$ , para evaluar hasta 4 puntos de estudio.
- para un  $\{q=2, m=4\}$  *simplex-lattice*, donde el espacio es una recta, los puntos de estudio serán  $X_i = 0, 1/4, 1/2, 3/4, 1$ .
- La cantidad de combinaciones =  $(2+4-1)! / 4! (2-1)! = 5! / 4! = 5$ .
- Las combinaciones en estudio para el diseño de mezclas fueron  $(X_1, X_2) = (1, 0), (0, 1), (1/2, 1/2), (1/4, 3/4), (3/4, 1/4)$ .



**Cuadro 13: Diseño de Bloques Completos al Azar para la viscosidad aparente, porcentaje de grupos acetilos y grado de sustitución**

Bloques	Tratamientos (Nivel de Acetilación*)	Viscosidad Aparente cP	Por ciento de Grupos Acetilos (GA)	Grado de sustitución (GS)
Almidón de Papa Var. Única	0	X <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub>	Z <sub>1</sub>
	5	X <sub>2</sub>	Y <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub>
	10	X <sub>3</sub>	Y <sub>3</sub>	Z <sub>3</sub>
	15	X <sub>4</sub>	Y <sub>4</sub>	Z <sub>4</sub>
Almidón de Papa Avebe	0	X <sub>5</sub>	Y <sub>5</sub>	Z <sub>5</sub>
	5	X <sub>6</sub>	Y <sub>6</sub>	Z <sub>6</sub>
	10	X <sub>7</sub>	Y <sub>7</sub>	Z <sub>7</sub>
	15	X <sub>8</sub>	Y <sub>8</sub>	Z <sub>8</sub>

\*Volumen de anhídrido acético respecto al peso de la muestra en base seca (% v/w).

**Cuadro 14: Límites permitidos de modificación por acetilación**

Características	Límites permitidos
Grado de Sustitución (GS)	≤ 0,20
% Grupos Acetilos (GA)	≤ 2,5 %

FUENTE: FDA (2007) y JECFA (2001)

En el Diseño de mezclas (Cuadro 15) se planteó el como máximo porcentaje de aplicación para el almidón modificado un 3 por ciento (% w / w del total de la mezcla base de helado), debido a que es la máxima cantidad de almidón modificado que se puede añadir al helado según la NTC – 1239 (ICONTEC, 2002). Mientras que para la cantidad de estabilizante (carboximetilcelulosa) el máximo porcentaje fue de 0,3 por ciento (% w / w total de la mezcla base de helado), empleado por Razavi *et al.* (2010).

**Cuadro 15: Diseño experimental para el diseño de mezclas *simplex lattice* {2,4}**

Tratamientos	Variables Independientes		Variables Respuesta	
	Carboximetilcelulosa	Almidón	1	2
	%	modificado %		
Helado <i>Soft</i> 0	1(0,3%)	0 (0%)	Overrun	Viscosidad de la base de helado
Helado <i>Soft</i> 1	0,75 (0,225%)	0,25 (0,75%)		
Helado <i>Soft</i> 2	0,50 (0,15%)	0,50 (1,5%)		
Helado <i>Soft</i> 3	0,25 (0,075%)	0,75 (2,25%)		
Helado <i>Soft</i> 4	0 (0%)	1(3 %)		

Del diseño de mezclas se obtuvo como resultado dos modelos en función a las variables respuesta (*overrun* y viscosidad de la mezcla base de helado), la obtención del modelo al cual más se ajuste cada variable, sea lineal cuadrática, cubica o cubica especial se realizó mediante la metodología de Gutiérrez y De la Vara (2008) y utilizando un paquete estadístico.

Por otro lado para comparar las otras características de densidad y comportamiento reológico de los tratamientos planteados en el Cuadro15 más la mezcla de helado base comercial, se realizó un diseño completo al azar el cual se muestra en el Cuadro16.

**d) Etapa IV: Caracterización y Evaluación Sensorial del helado *soft* elaborado con almidón modificado**

Con el resultado óptimo de la etapa III se procedió a elaborar el helado para su caracterización (*overrun*, estabilidad de emulsión, viscosidad, densidad del helado y la mezcla base de helado) y se evaluó el registro en comparación a otros investigadores. También se realizó la evaluación sensorial de este helado mediante una prueba de consumidores para determinar la aceptabilidad general.

**Cuadro 16: Diseño Completo al Azar para la densidad del helado soft y comportamiento reológico ( $n$ ) de la mezcla base de helado soft**

Tratamientos	Densidad (g/L)	Comportamiento reológico ( $n$ )
Helado <i>Soft</i> 0	X <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub>
Helado <i>Soft</i> 1	X <sub>2</sub>	Y <sub>2</sub>
Helado <i>Soft</i> 2	X <sub>3</sub>	Y <sub>3</sub>
Helado <i>Soft</i> 3	X <sub>4</sub>	Y <sub>4</sub>
Helado <i>Soft</i> 4	X <sub>5</sub>	Y <sub>5</sub>
Helado <i>Soft</i> Comercial	X <sub>6</sub>	Y <sub>6</sub>

Valores promedio de dos repeticiones.

**e) Análisis estadísticos**

- Etapa I: Se empleó la prueba de *t-student* de comparación de muestras pareadas, para determinar si existía diferencias significativas entre las características de composición proximal, sinéresis y claridad de gel, del almidón comercial de papa (marca Avebe) y el almidón de papa var. Única extraído.
- Etapa II: Se realizó un ANVA para ver la significancia del efecto del tratamiento de acetilación y el tipo de almidón, sobre la viscosidad aparente y grado de sustitución de los almidones modificados de papa var. Única y Avebe, luego se realizó la prueba de comparación múltiple respecto a la media de cada tratamiento, mediante una prueba LSD-Fisher con un 95 por ciento de confianza.
- Etapa III: Para el diseño de mezclas, se ajustó cada variable respuesta por separado, a diferentes modelos (media, lineal, cuadrático y cúbico) por medio de regresión múltiple, para luego escoger el modelo que presente un *p-value* significativo (menor a 0,05). En el caso de encontrar más de un modelo significativo, se eligió el que mostró un mayor incremento de  $R^2$  con respecto al modelo de una orden menor (Gutiérrez y De la Vara, 2008). Después de elegir el modelo se realizó el ajuste y el ANVA respectivo para estimar los coeficientes del modelo respectivo.

Una vez elegido el modelo que se ajustó más a cada variable respuesta, se procedió a la búsqueda de los porcentajes de carboximetilcelulosa y almidón modificado por acetilación que proporcionen características similares a las de una mezcla comercial base de helado *soft*. Para lo cual se usó el método de función de la deseabilidad, utilizando la metodología de Gutiérrez y De la Vara (2008). Para este procedimiento se tomó como valores objetivo: La viscosidad aparente de una mezcla comercial de helado *soft* y el *overrun* de este helado (Cuadro 17), asimismo se consideró a las variables respuesta con el mismo peso ( $w_1 = w_2 = 1$ ), ya que las dos tienen igual importancia.

**Cuadro 17: Características de una mezcla base de helado Comercial**

Característica	Valor
Viscosidad Aparente de la mezcla base de helado <i>soft</i> (cP)	117,03
<i>Overrun</i> del helado <i>soft</i> (%)	53,4

Valores promedio de dos repeticiones.

Con el paquete estadístico STATGRAPHICS ® CENTURION XV.1 (como herramienta de cálculo) se halló la deseabilidad global para cada mezcla estudiada y luego mediante la maximización de la deseabilidad se encontró la mezcla que brindó mayor valor de deseabilidad.

Por otro lado para comparar las otras características medidas (densidad del helado y constante reológica), se aplicó un ANVA y luego se realizó la prueba de comparación múltiple respecto a la media de cada tratamiento, mediante una prueba LSD-Fisher con un 95 por ciento de confianza.

- Etapa IV: Se determinó mediante la prueba de *t-student*, si existía diferencias significativas a un nivel del 95 por ciento de confianza, de las características de viscosidad aparente, *overrun*, densidad de la mezcla base de helado y densidad del helado, entre el helado de formulación con características similares al helado comercial y el helado comercial.

Se utilizó el paquete estadístico STATGRAPHICS ® CENTURION XV.1 como herramienta de cálculo para los análisis estadísticos de las distintas etapas.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Caracterización del almidón extraído de papa (*Solanum tuberosum*) var. Única

#### 4.1.1 Composición proximal

En la Figura 11 se muestra la papa var. Única con la que se trabajó y el almidón extraído.



**Figura 11: Papa var. Única y Almidón de papa var. Única**

En el Cuadro 18 se muestra el rendimiento de extracción del almidón de papa var. Única procedente del fundo de la UNALM.

**Cuadro 18: Rendimiento de extracción de almidón de papa var. Única**

<b>Papa var. Única</b>	
Peso de la papa	
Merma	554,75 ± 16,9 g
Peso total de almidón extraído	109,95 ± 4,9 g
Rendimiento (%)	16,50 ± 0,2%
Contenido de materia seca	21,40 ± 0,4%
Aspecto visual	Blanco sin impurezas

\*promedio de dos repeticiones

Melian (2010) registra rendimientos de extracción en diferentes variedades desde 15,65 hasta 30 por ciento, el cual va en función al contenido de materia seca que va de 21,9 a 36,18 por ciento. En la papa que se usó (var. Única) se tiene un contenido de materia seca del 21,4 por ciento, y un rendimiento de extracción del 16,5 por ciento.

En el Cuadro 19 se muestra el análisis proximal del almidón nativo de papa var. Única.

**Cuadro 19: Análisis proximal del almidón en base seca\***

Composición	Var. Única (%)	Avebe (%)
Carbohidratos <sup>a</sup>	98,80 ± 0,12	99,20 ± 0,12
Proteína	0,47 ± 0,07	0,28 ± 0,09
Ceniza	0,43 ± 0,03	0,28 ± 0,01
Grasa	0,30 ± 0,08	0,25 ± 0,10

\*Valores en base seca Promedio de tres repeticiones, <sup>a</sup> Por diferencia

Con respecto a la cantidad de proteína encontrada en el almidón de papa var. Única, se puede apreciar que es similar al valor reportado por Melian (2010) entre 0,12–0,59 por ciento para almidones de diferentes variedades de papa; sin embargo, Singh y Kaur (2009) reportaron valores de 0,6–2,1 por ciento para almidones de otras variedades de papa. Por otro lado, para el almidón Avebe se encontró una cantidad de proteína de 0,28±0,01 por ciento en general.

Melian (2010) afirma que «un alto contenido de proteínas interfiere en las propiedades fisicoquímicas del gel de almidón, cambia su viscosidad característica, tiende a espumar y aparece el aroma a harina, lo cual es indeseable». En los almidones estudiados no se encontró estos defectos, debido a que el contenido de proteína es bajo.

Singh y Kaur (2009) mencionan que el almidón de papa es el de mayor pureza, por la gran presencia de carbohidratos. Lo cual se verificó en los almidones estudiados al tener una cantidad de 98,8 por ciento para el almidón de papa var. Única y 99,2 por ciento para el almidón Avebe.

Mediante la prueba *t-student* (Anexo 2) a un nivel de significancia del 95 por ciento, no se encontraron diferencias significativas en la composición proximal entre el almidón de papa var. Única y el almidón de papa Avebe.

#### 4.1.2 Caracterización funcional

En el Cuadro 20 se muestran los resultados obtenidos de sinéresis, claridad de gel y viscosidad aparente del almidón de papa var. Única y almidón Avebe.

Espinoza (2008), Bertolini (2010), Singh y Kaur (2009), Bemiller y Whistler (2009) mencionan que el almacenaje en frío induce a la retrogradación de la amilosa y las ramificaciones de la amilopectina presentes en un gel de almidón, logrando que se formen compuestos insolubles (cristales de amilosa y amilopectina) los cuales hacen que se disminuya la claridad de la gel. Esto explicó la caída de transmitancia a lo largo del tiempo en la prueba de claridad de geles de los almidones.

Raina *et al.* (2006) encontraron en almidones nativos de arroz con diferentes cantidades de amilosa que a mayor contenido de amilosa menor claridad a las 72 horas, a su vez Espinoza (2008) menciona que la amilosa retrograda más rápido que las ramificaciones de amilopectina. Por tanto, se deduce que el almidón de papa var. Única posiblemente tenga mayor cantidad de amilosa que el almidón de papa Avebe.

Para la formación de cristales en la retrogradación, la amilosa y las ramificaciones de amilopectina se tienen que desligar del agua generando exudados, lo cual se conoce como el fenómeno de sinéresis (Bertolini, 2010). Esto se observó durante los ciclos de congelación, pues al congelar se perdió la translucidez del gel de almidón por la formación de cristales.

Mediante la prueba de *t-student*, para la comparación de los dos almidones con respecto a sus características de claridad de gel, no se encontró diferencias significativas a un nivel de significancia del 95 por ciento ( $p > 0,05$ ) (Anexo 2). Por tanto, se puede afirmar que los almidones evaluados tienen el mismo comportamiento de cambio de claridad de gel, no obstante el almidón de papa var. Única retrograda más, por tener menor claridad al término de la evaluación.

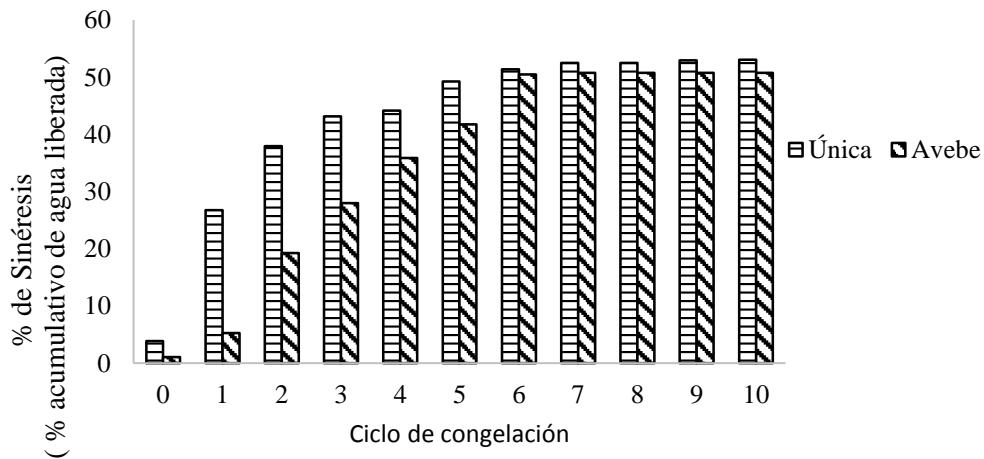
Con respecto a la comparación del comportamiento de sinéresis de los almidones, mediante la prueba *t-student* se puede afirmar con un nivel de significancia del 95 por ciento, que los almidones tienen diferente comportamiento de sinéresis, pues se obtuvo un *p-value* menor que 0,05 (Anexo 2). Asimismo, se puede mencionar que hubo mayor sinéresis en el almidón de papa var. Única comparado con el almidón de papa Avebe (Figura 12).



**Cuadro 20: Caracterización del almidón**

Muestra de almidón	Sinéresis (% acumulativo de agua eliminada)*										
	Día										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Var. Única	3,9 ±0,3	26,8 ±0,9	38,0 ±7,4	43,2±10,4	44,2 ±8,9	49,3 ±3,0	51,4 ±1,5	52,5 ±0,1	52,5 ±0,1	53,0 ±0,7	53,1 ±0,6
Avebe	1,1 ±0,2	5,3 ±1,9	19,3 ±7,3	28,0 ±1,3	35,9 ±1,9	41,8 ±3,0	50,5 ±0,3	50,8 ±0,1	50,8 ±0,1	50,8 ±0,2	50,8 ±0,1
Muestra de almidón	Claridad de gel (% Transmitancia)*							Viscosidad aparente*			
	0 h	24 h	48 h	72 h					(cP)		
Var. Única	57,4 ± 1,3	9,6 ± 0,2	5,1 ± 0,5	1,7 ± 0,2					25000,1 ± 50,3		
Avebe	67,1 ± 1,0	11,0 ± 0,5	5,1 ± 0,5	2,2 ± 0,1					28285,7 ± 50,5		

\*Valores promedio de dos repeticiones



**Figura 12: Estabilidad al congelamiento de los almidones nativos**

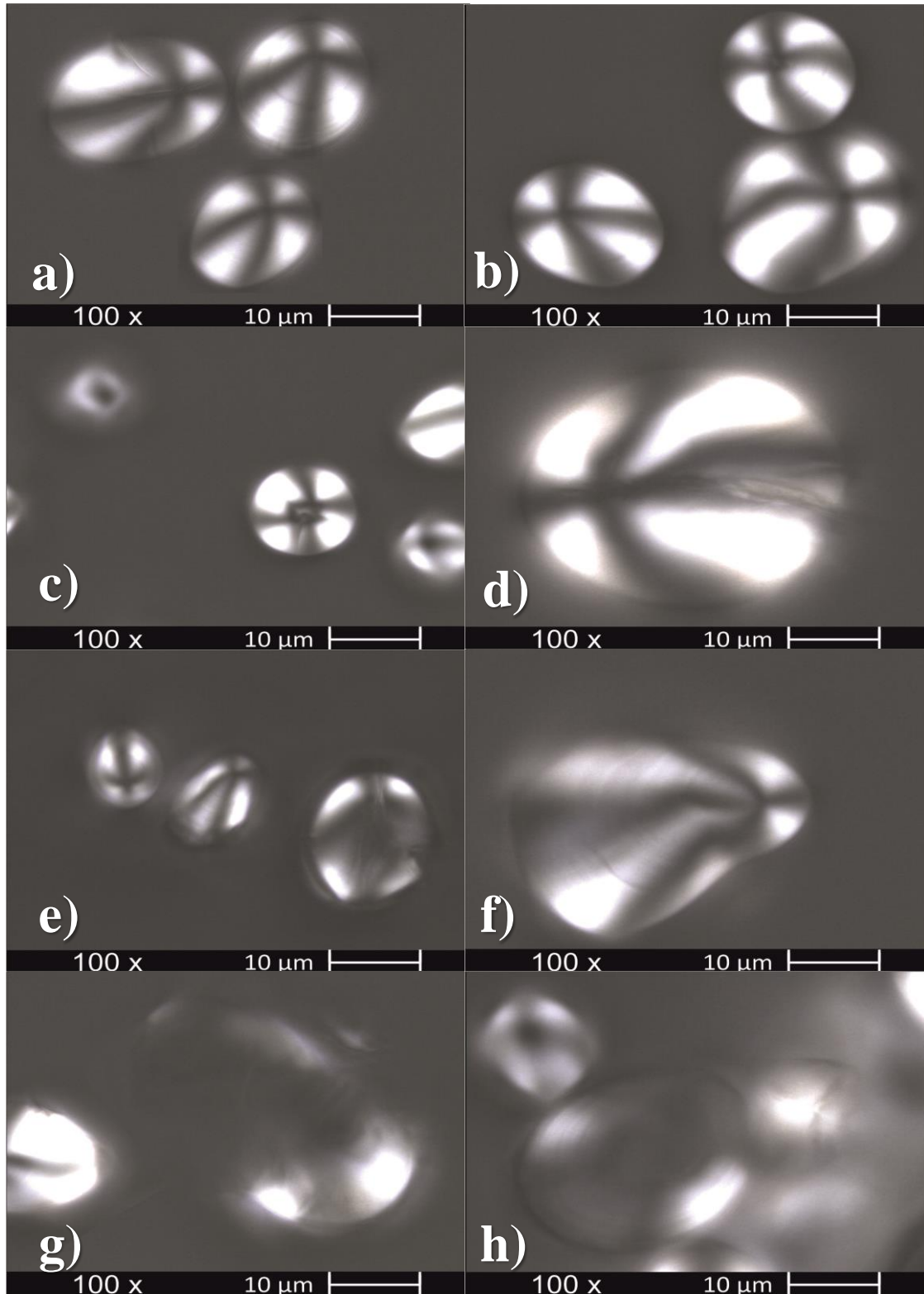
## 4.2 Caracterización de los almidones de papa modificados por acetilación

En la Figura 13 se muestra por microscopia electrónica, los almidones nativos y sus modificados a diferentes niveles de acetilación. Se puede observar que la modificación química altera la cruz de malta característica en los gránulos de almidón nativo.

### 4.2.1 Evaluación de la viscosidad aparente, porcentaje de grupos acetilos y grado de sustitución

En el Cuadro 21 se muestra el promedio de los valores de viscosidad aparente, Por ciento de grupos acetilos y grado de sustitución.

En el Anexo 3 se muestra los análisis de varianza (ANVA) de la viscosidad aparente, por ciento grupos acetilos y grado de sustitución, de los almidones modificados con diferentes niveles de acetilación, encontrándose tanto que el nivel de acetilación como el tipo de almidón influyeron de manera significativa ( $p < 0,05$ ). Por tanto, se realizó la prueba de comparación de medias (LSD de Fisher) para determinar las diferencias entre los distintos tratamientos (nivel de acetilación).



**Figura 13. Microscopia electrónica de los almidones nativos y modificados**

a) Var. Única nativo, b) Avebe nativo, c) Var. Única 5 %, d) Avebe 5 %, e) Var. Única 10 % f) Avebe 10 %, g) Var.Única 15 % y h) Avebe 15 %

**Cuadro 21: Diseños de Bloques Completos al Azar (DBCA) para la viscosidad aparente, porcentaje de grupos acetilos y grado de sustitución**

Bloques	Tratamientos (Nivel de Acetilación**)	Viscosidad Aparente cP *	Porcentaje de grupos acetilos* (GA)	Grado de sustitución* (GS)
Almidón de papa Var. Única	0 %	25000,1±50,3 <sup>a</sup>	---	---
	5 %	12964,3±151,5 <sup>b</sup>	0,44±0,02 <sup>a</sup>	0,017±0,001 <sup>a</sup>
	10 %	7160,7±75,5 <sup>c</sup>	0,87±0,02 <sup>b</sup>	0,033±0,001 <sup>b</sup>
	15 %	5428,6±151,5 <sup>d</sup>	1,26±0,01 <sup>c</sup>	0,048±0,000 <sup>c</sup>
Almidón de papa Avebe	0 %	28285,7±50,5 <sup>b a</sup>	---	---
	5 %	20321,4±202,3 <sup>b</sup>	0,37±0,02 <sup>a</sup>	0,014±0,001 <sup>a</sup>
	10 %	15500,0±50,5 <sup>c</sup>	0,46±0,04 <sup>b</sup>	0,017±0,002 <sup>b</sup>
	15 %	9035,7±101,0 <sup>d</sup>	0,95±0,01 <sup>c</sup>	0,036±0,000 <sup>c</sup>

\*Promedio de dos Repeticiones

\*\*Por ciento de Volumen de Anhídrido acético respecto al peso de la muestra en base seca (v/w)

Se encontraron diferencias significativas entre todos los niveles de acetilación a una significancia del 95 por ciento ( $p < 0,05$ ). Por lo tanto, cada nivel de acetilación brinda diferentes valores de viscosidad aparente, por ciento de grupos acetilos y grado de sustitución.

También se observa en el Cuadro 21 que los niveles de acetilación en el almidón modificado de var. Única, producen un gel de almidón de menor viscosidad aparente en comparación al gel de almidón modificado de Avebe. Por otro lado, el porcentaje de grupos acetilos y el grado de sustitución es mayor en el gel de almidón de papa var. Única modificada.

El porcentaje de grupos acetilos (GA) para los geles de almidón modificado de papa var. Única son menores que los reportados por: Takahiro *et al.* (2009), en papa valores entre 0,66 a 1,96 por ciento, con 2,5 a 5 por ciento de anhídrido acético; Kadivar *et al.* (2009) en avena con 6 a 8 por ciento de anhídrido acético encontraron un GA de 1,54 a 2,92 por ciento; Raina *et al.* (2006) encontró en arroz valores de 0,79 a 1,82 por ciento de GA con 4 a 10 por ciento de vinil acetato; Ayucitra (2012) encontró valores de GA en maíz de 2,16 a 5,29 por ciento con 8 por ciento de anhídrido acético y Bello *et al.* (2012) en cebada de 0,9 a 2,7 por ciento de GA con 24 por ciento de anhídrido acético. Se puede afirmar con los resultados obtenidos y reportados, que ha mayor cantidad de reactante (anhídrido acético o acetato de vinilo), el GA aumenta.

Prieto *et al.* (2010) afirman que «la variación del porcentaje de GA, se debe a los diferentes tipos de almidones, contenidos de amilosa y amilopectina, tamaño y morfología del gránulo, y las condiciones en la que se da la reacción de acetilación así como la variación de diferentes parámetros, temperatura, tiempo de reacción, pH y/o concentración de reactivo».

De acuerdo a los valores de viscosidad aparente obtenidos y a los recomendados por Bertolini (2010), se seleccionaron dos almidones modificados cuyos geles proporcionaron menor viscosidad aparente para evaluar la claridad y la sinéresis con el fin de escoger el idóneo para la aplicación como insumo sustituto parcial de sólidos lácteos no grasos en un helado de tipo *soft*.

Los resultados de porcentaje de grupos acetilos (GA) y grados de sustitución (GS) encontrados en los geles de almidones modificados (Cuadro 21), permite afirmar que serían aptos para su empleo en la industria de alimentos, pues cumplen con los requisitos establecidos por la JEFCA (2001) Y FAO (2007), cuyos valores no deben exceder el 2,5 por ciento y 0,08 para el GA y GS respectivamente.

#### **4.2.2 Claridad de los geles**

En el Cuadro 22 se presentan los resultados de claridad de los geles de almidón almacenados a 4 °C. Se puede observar que existe una considerable disminución de la transmitancia en los geles de almidón nativo a diferencia de lo que sucedió con la de los geles de almidones modificados con niveles de acetilación de 10 y 15 por ciento.

Bello *et al.* (2002) afirman que «la claridad refleja la retrogradación y el almacenamiento en frío, incrementa la retrogradación». El almidón nativo, por su naturaleza tiende a retrogradar más, comparado con los almidones acetilados los cuales son más estables en frío, pues se obtuvo menor disminución de transmitancia para los almidones modificados de 10 y 15 por ciento de acetilación de papa var. Única (Raina *et al.* 2006, Bello *et al.* 2002).

**Cuadro 22: Claridad de geles de almidón modificado**

Muestra		% Transmitancia*			
Variedad	Nivel de Acetilación (%)	0 h	24 h	48 h	72 h
Nativo Var. Única	0,0	57,4±1,3	9,60±0,3	5,10±0,5	1,70±0,2
Nativo Avebe	0,0	67,1±0,9	11,00±0,5	5,10±0,5	2,20±0,1
Var. Única	10,0	27,0±0,3	16,60±0,2	9,10±0,4	4,40±0,1
Var. Única	15,0	22,1±2,0	13,25±0,4	7,85±0,3	3,85±0,3

\*Valores Promedio de dos repeticiones

Gidley (1987) citado por Bello *et al.* (2002) afirma que «la gelificación de la amilosa se da mediante la formación de una doble hélice a partir de segmentos de cadenas de amilosa, seguido por la agregación a la estructura  $\beta$  y este nuevo agregado hace que la transmitancia disminuya». Posiblemente, la acetilación influye en la formación de los agregados que hacen que varíe la transmitancia, puesto que después de la gelatinización la transmitancia disminuyó en comparación al almidón nativo; sin embargo, en el tiempo la claridad es mayor para los almidones modificados que para los nativos.

Ayucitra (2012) afirma que «la claridad de geles es una propiedad útil para la fabricación de algunos productos alimenticios como los aderezos de ensaladas y productos de confitería». Se ha confirmado que la claridad al termino del almacenamiento, para los almidones modificados por acetilación, de papa var. Única, son mayores que los almidones nativos estudiados.

Efectos similares de acetilación han sido reportados ampliamente para diferentes tipos de almidón. Ayucitra (2012) en almidones de maíz nativos, al cabo de las 72 h se registró 1,8 por ciento y en almidones acetilados entre 10 y 12 por ciento al cabo de 72 h. Por su parte, Bello *et al.* (2002) entre 5 y 10 por ciento para almidones acetilados de plátano y entre 1 y 2,5 por ciento para almidones nativos de plátano al cabo de las 72 h. Finalmente, Raina *et al.* (2006) registra en almidones acetilados de arroz entre 4.5 y 9,48 por ciento a las 72 h.

### **4.2.3 Estabilidad al congelamiento**

Bertolini (2010) describe que la sinéresis es un fenómeno que se da en el almidón debido a la retrogradación, en donde hay una reorganización de la amilosa y amilopectina, También indica que la acetilación del almidón interrumpe la linealidad de la amilosa y de las ramificaciones de la amilopectina volviéndola más estable, con lo que se logra que la retrogradación sea menor; por tanto, la sinéresis disminuye, lo que se reflejó en los resultados mostrados en el Cuadro 23 y en la Figura 14.

Porcentajes de sinéresis para los geles de almidón acetilados a 10 y 15 por ciento fueron 35,3 y 31 por ciento, respectivamente. Resultados similares reportaron Amani *et al.* (2002) para geles de almidones modificados comerciales, almacenados en congelación entre 13 – 50 por ciento de sinéresis. También Ayucitra (2012) reportó, para geles de almidones acetilados de maíz almacenados en refrigeración, entre 20 y 50 por ciento de sinéresis, siendo los más estables a mayor porcentaje de grupos acetilos. Asimismo Kadivar *et al.* (2009) encontraron en almidones acetilados de avena en refrigeración entre 0,1 y 2 por ciento de sinéresis. En el presente trabajo los almidones acetilados al presentaron sinéresis en congelación entre 35,3 y 31 por ciento de sinéresis respectivamente, y el comportamiento de esta se muestra en la Figura 14.

Cabe mencionar que la sinéresis es una evaluación para caracterizar el almidón, pues en un producto final, a lo más se da un ciclo de congelación y descongelación. Sin embargo, lo resaltante de la modificación del almidón de papa var. Única es que al primer ciclo de congelación y descongelación para 10 y 15 por ciento de acetilación, la sinéresis fue mínima (0,3 por ciento y 0,1 por ciento, respectivamente). Resultados similares fueron reportados por Amani *et al.* (2002) para almidones comerciales. El porcentaje de sinéresis después de 10 ciclos de congelación fue menor para los almidones modificados que para los nativos.

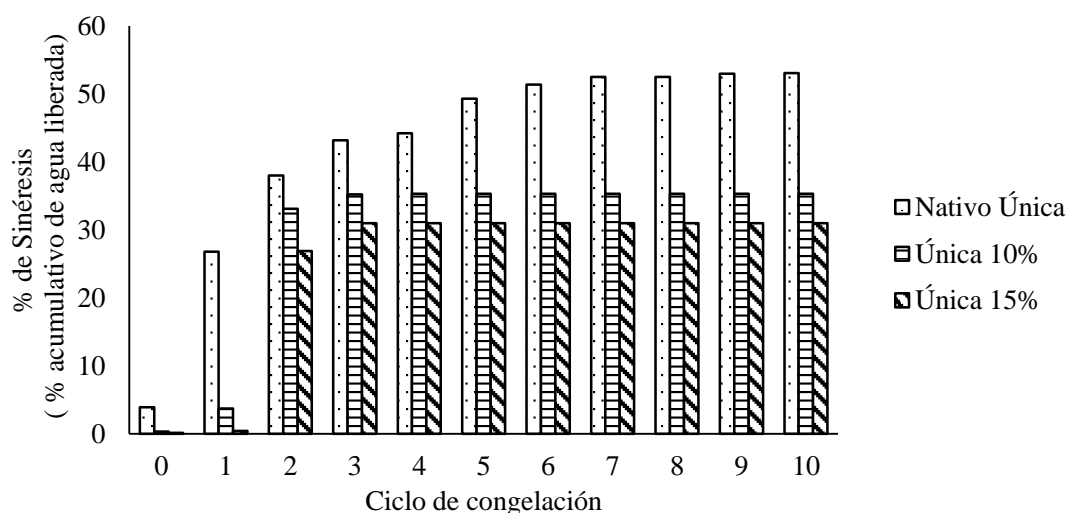
**Cuadro 23: Resultados de Sinéresis**

Muestra de almidón	Sinéresis ( % acumulativo de agua eliminada)*											
	Día											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Nativo Var. Única	3,9±0,3	26,8±0,9	38,0±7,4	43,2±10,4	44,2±8,9	49,3±3,0	51,4±1,5	52,5±0,1	52,5±0,1	53,0±0,7	53,1±0,6	
Nativo Avebe	1,1±0,2	5,3±1,8	19,3±7,3	28,0±1,3	35,9±1,9	41,8±3,0	50,5±0,3	50,8±0,1	50,8±0,1	50,8±0,2	50,8±0,1	
Var. Única 10% **	0,3±0,2	3,7±0,3	33,1±0,4	35,2±0,3	35,3±0,2	35,3±0,2	35,3±0,2	35,3±0,2	35,3±0,2	35,3±0,2	35,3±0,2	
Var. Única 15% **	0,1±0,1	0,4±0,1	26,9±4,1	31,0±0,1	31,0±0,1	31,0±0,1	31,0±0,1	31,0±0,1	31,0±0,1	31,0±0,1	31,0±0,1	

\*Valores promedio de dos repeticiones

\*\* Por ciento de Volumen de Anhídrido acético respecto al peso de la muestra en base seca (v/w)





**Figura 14: Estabilidad al congelamiento de los almidones modificados y su almidón nativo**

Finalmente, el almidón modificado por acetilación de 15 por ciento fue el seleccionado por tener mejores características funcionales (menor viscosidad y menor sinéresis). La composición proximal se muestra en el Cuadro 24.

**Cuadro 24: Análisis proximal del almidón modificado con 15 por ciento de anhídrido acético (% v/w de almidón) y almidón nativo de papa var. Única**

Composición	Almidón modificado*	Almidón nativo var. Única*
Carbohidratos**(%)	99,18 ± 0,02	98,80 ± 0,12
Proteína (%)	0,33 ± 0,09	0,47 ± 0,07
Ceniza (%)	0,32 ± 0,02	0,43 ± 0,03
Grasa (%)	0,17 ± 0,02	0,30 ± 0,08

\*Valores en base seca Promedio de tres repeticiones, \*\*Por diferencia

Con la prueba *t-student* (Anexo 3) a un nivel de confianza del 95 por ciento se determinó que no existen diferencias significativas en la composición proximal entre el almidón modificado seleccionado (5 por ciento de acetilación) y el nativo de papa var. Única.

Debido a la modificación química del almidón nativo de papa var. Única por acetilación, se mejoraron sus propiedades funcionales (sinéresis, claridad y viscosidad aparente), sin variar su composición, se puede afirmar que el almidón modificado se puede aplicar en helados *soft* como insumo.

#### 4.3 Determinación de la cantidad adecuada de almidón modificado para su aplicación en un helado *soft*

Para encontrar la cantidad adecuada de almidón modificado (15 por ciento de acetilación) se utilizó el diseño de mezclas detallado en la sección 3.4.2, cuyos resultados del arreglo experimental se muestran en el Cuadro 25. Respecto a este se evaluó cada variable respuesta por separado y luego la obtención de las proporciones de mezcla con mayor deseabilidad global, siguiendo la metodología de Gutiérrez y De La Vara (2008).

**Cuadro 25: Valores de *overrun* y viscosidad aparente del diseño de mezclas**

Nomenclatura	Carboximetilcelulosa	Almidón modificado	<i>Overrun</i> * (%)	Viscosidad aparente (cP)*
Helado <i>Soft</i> 0	1	0	51,8	234,30
Helado <i>Soft</i> 4	0	1	46,6	113,40
Helado <i>Soft</i> 2	0,50	0,50	56,9	131,65
Helado <i>Soft</i> 1	0,75	0,25	57,9	148,20
Helado <i>Soft</i> 3	0,25	0,75	53,0	95,05
Helado <i>Soft</i> Comercial	Valores objetivos para la optimización		53,4	117,03

\*Valores promedio de 2 repeticiones.

### 4.3.1 *Overrun*

Los datos obtenidos de *overrun* fueron ajustados de manera secuencial, mediante una regresión múltiple a varios modelos (media, lineal, cuadrático y cúbico), escogiendo al modelo cuadrático el cual tuvo el menor *p-value* (Anexo 5) y a su vez significativo ( $p < 0,05$ ). La elección se corroboró mediante el criterio de los coeficientes de determinación observados en el Anexo 5 ( $R^2$  y  $R^2$  (ajustado)) en donde el modelo cuadrático tiene coeficientes más grandes que el modelo lineal. No obstante, el modelo cúbico también podría ser una alternativa, que fue descartada debido a que logra incrementar sólo un poco el coeficiente de determinación con respuesta al anterior.

Los resultados del ANVA del modelo seleccionado se muestran en el Anexo 5 y se encuentra que el modelo es significativo, pues  $p < 0,05$ .

El coeficiente de determinación  $R^2$  del modelo cuadrático indica que el 91,46 por ciento de la varianza de los resultados de *overrun* fue explicada por el modelo cuadrático. Además, el coeficiente de determinación  $R^2$  ajustado, cuyo valor fue de 91,49 por ciento, permitió establecer que el modelo seleccionado se ajustó adecuadamente a los datos experimentales.

Según los coeficientes del modelo cuadrático ajustado (Anexo 5), en la ecuación 19 se muestra el modelo ajustado en función a las proporciones de los estabilizantes.

$$\text{Overrun} = 52,27 \times \text{Carboximetilcelulosa} + 46,15 \times \text{Almidón Modificado} + 32 \times \text{Carboximetilcelulosa} \times \text{Almidón Modificado} \quad (19)$$

Goff y Hartel (2013) mencionan que los valores de *overrun* para helados *soft* usualmente son entre 30 y 60 por ciento pues depende del contenido de sólidos totales, el tipo de máquina y la composición del helado. En la presente investigación no se varió el contenido de sólidos totales, se usó sólo una máquina de helados y se obtuvo valores de *overrun* usuales.

En los helados *soft*, el almidón modificado sirvió como estabilizante (aportó viscosidad) y espesante (aportó sólidos totales), lo que concuerda con Marshall *et al.* (2003) y Goff y Hartel (2013) quienes mencionan que el almidón modificado sirve como insumo de estabilizante y espesante.

### 4.3.2 Viscosidad aparente de la mezcla base de helado *soft*

Se realizó la misma secuencia que en la variable *overrun*, obteniendo valores de *p value* muy bajos para el modelo lineal ( $p=0.0027$ ) y cuadrático ( $p = 0.0010$ ) por lo que se optó por los coeficientes de determinación, seleccionando al modelo cuadrático (Anexo 6).

Los resultados del ANVA del modelo seleccionado se muestran en el Anexo 6, y se observa que el modelo es significativo ( $p<0,05$ ).

El coeficiente de determinación  $R^2$  indica que el 96,30 por ciento de la varianza de los resultados de viscosidad fue explicada por el modelo cuadrático. Además, el coeficiente de determinación ajustado  $R^2$  ajustado, cuyo valor fue de 94,45 por ciento; permitió establecer que el modelo seleccionado se ajustó adecuadamente a los datos experimentales.

Según los coeficientes del modelo cuadrático ajustado (Anexo 6), se muestra la ecuación en función a las proporciones de los estabilizantes:

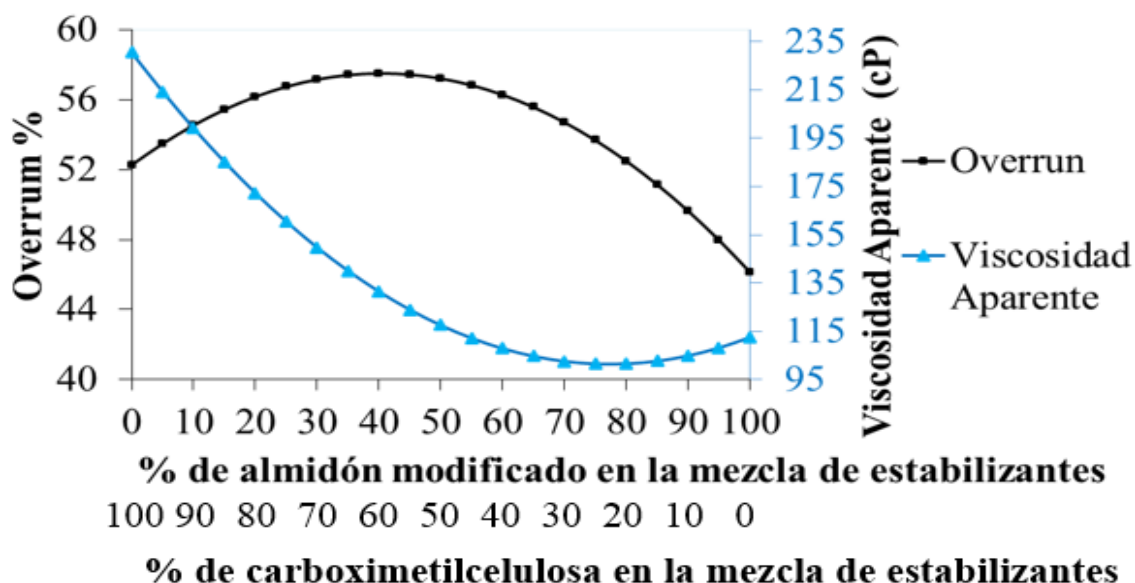
$$\text{Viscosidad} = 230,489 \times \text{carboximetilcelulosa} + 112,509 \times \text{Almidon Modificado} - 215,829 \times \text{carboximetilcelulosa} \times \text{Almidón Modificado} \quad (20)$$

### 4.3.3 Función deseabilidad para múltiples respuestas (viscosidad aparente y *overrun*)

Goff y Hartel (2013) mencionan que un cierto nivel de viscosidad es esencial para batir la mezcla base de helado, incorporar el aire adecuado y obtener la textura ideal para el consumidor. Es por esta razón, se consideró valores puntuales objetivo: la viscosidad aparente de una mezcla comercial base de helado *soft* y el *overrun* de ese helado comercial (Cuadro 25).

Luego de observar el comportamiento en cuanto a *overrun* y viscosidad en las diferentes mezclas (encontrar modelos) se procedió a la obtención de mezcla de proporciones con mayor deseabilidad global según método de Gutiérrez y De La Vara (2008). En donde se obtuvo como mezcla con mayor deseabilidad global (Anexo 7) la de proporciones de 0,2375 de carboximetilcelulosa y 0,7625 de almidón modificado por acetilación, dando variables respuesta estimadas de 53,4 por ciento de *overrun* y 101.44 cP de viscosidad aparente, a un valor de deseabilidad global de 0,576133.

En la Figura 15 se muestra los efectos respecto al *overrun* y la viscosidad aparente en función a las diferentes mezclas de estabilizante (porcentaje de almidón modificado por acetilación y porcentaje de carboximetilcelulosa) Dichas curvas se obtuvieron de los modelos cuadráticos de cada variable (Sección 4.3.1 y 4.3.2).



**Figura 15: *Overrun* y viscosidad aparente vs porcentaje de almidón modificado en la mezcla de estabilizantes**

#### 4.3.4 Densidad de los helados *soft* y reología de la mezcla base de los helados *soft*

En el Cuadro 26 se muestra el promedio de los valores de densidad del helado *soft* y el índice de comportamiento reológico ( $n$ ).

En el Anexo 8 se muestra los análisis de varianza (ANVA) de la densidad y del índice de comportamiento reológico, de los helados *soft* y las mezclas base respectivamente.

Se encontró a un nivel de confianza del 95 por ciento, que existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en la densidad de los helados *soft* estudiados, por tanto se realizó la prueba de comparación de medias (LSD de Fisher) para determinar las diferencias entre los distintos tratamientos. En donde se encontró que a un nivel de confianza del 95 por ciento, no existen diferencias significativas entre los tratamientos de helado *soft* 3 y el helado comercial, ni

entre los tratamientos de helado *soft* 1 y helado *soft* 2. Por tanto los tratamientos helado *soft* 0, helado *soft* 1-helado *soft* 2, helado *soft* 3-helado *soft* comercial, y helado *soft* 4, difieren significativamente respecto a la densidad.

**Cuadro 26: Diseño Completo al Azar para la densidad del helado *soft* e índice de comportamiento reológico (*n*) de la mezcla base de helado *soft***

Tratamientos	Densidad (g/L)	Índice de Comportamiento reológico ( <i>n</i> )
Helado <i>Soft</i> 0	763,7±4,7 <sup>a</sup>	0,56 <sup>a</sup>
Helado <i>Soft</i> 1	696,5±2,5 <sup>b</sup>	0,67 <sup>b, c</sup>
Helado <i>Soft</i> 2	696,9±5,6 <sup>b</sup>	0,67 <sup>b</sup>
Helado <i>Soft</i> 3	718,0±3,6 <sup>c</sup>	0,74 <sup>d</sup>
Helado <i>Soft</i> 4	829,6±4,9 <sup>d</sup>	0,72 <sup>c, d</sup>
Helado <i>Soft</i> Comercial	711,5±5,9 <sup>c</sup>	0,71 <sup>b, c, d</sup>

Goff y Hartel (2013) reportaron valores de densidad entre 1 060 -1 150 g/L para mezclas de base de helado, en el Anexo 9 se muestra lo valores de densidad de mezclas base obtenidos, los cuales son similares a lo reportado por Goff y Hartel (2013), a excepción del tratamiento de helado *soft* 4 (en el cual sólo se utilizó almidón modificado como espesante).

Según la Norma Técnica Colombiana NTC 1239 (ICONTEC, 2002) establece como requisito de peso por litro mínimo para un helado, que se encuentre por encima de 475 g. Los resultados obtenidos en esta investigación cumplen este requisito (Cuadro 26) y se observó que la aplicación del almidón modificado como único estabilizante aumenta el peso del helado por litro; en cambio, cuando se usa este asociado con el estabilizante carboximetilcelulosa, la densidad del helado por litro disminuye, comparado con un helado normal. La sinergia de almidón modificado-carboximetilcelulosa es buena, pues para el fabricante en términos de ganancia aumentaría (menos helado por litro a ofrecer).

Sobre la estabilidad de emulsión en ninguna de las mezclas base de helados, se formaron dos fases después de la centrifugación. Por tanto, las mezclas obtuvieron un 100 por ciento

de estabilidad de emulsión, lo que indica que la formulación fue adecuada en cuanto a la cantidad de emulsionante y estabilizantes.

Respecto al índice de comportamiento reológico se encontró que existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) a un nivel de confianza del 95 por ciento entre los distintos tratamientos de mezcla base estudiados (Cuadro 26). Por tanto, se realizó la prueba de comparación de medias (LSD de Fisher) en donde a un nivel de confianza del 95 por ciento el tratamiento helado *soft* 0 tuvo diferencias significativas entre las demás mezclas de helado *soft*, también se observó que el helado comercial no tuvo diferencias significativas respecto a los tratamientos con almidón modificado (helado *soft* 1, 2, 3 y 4).

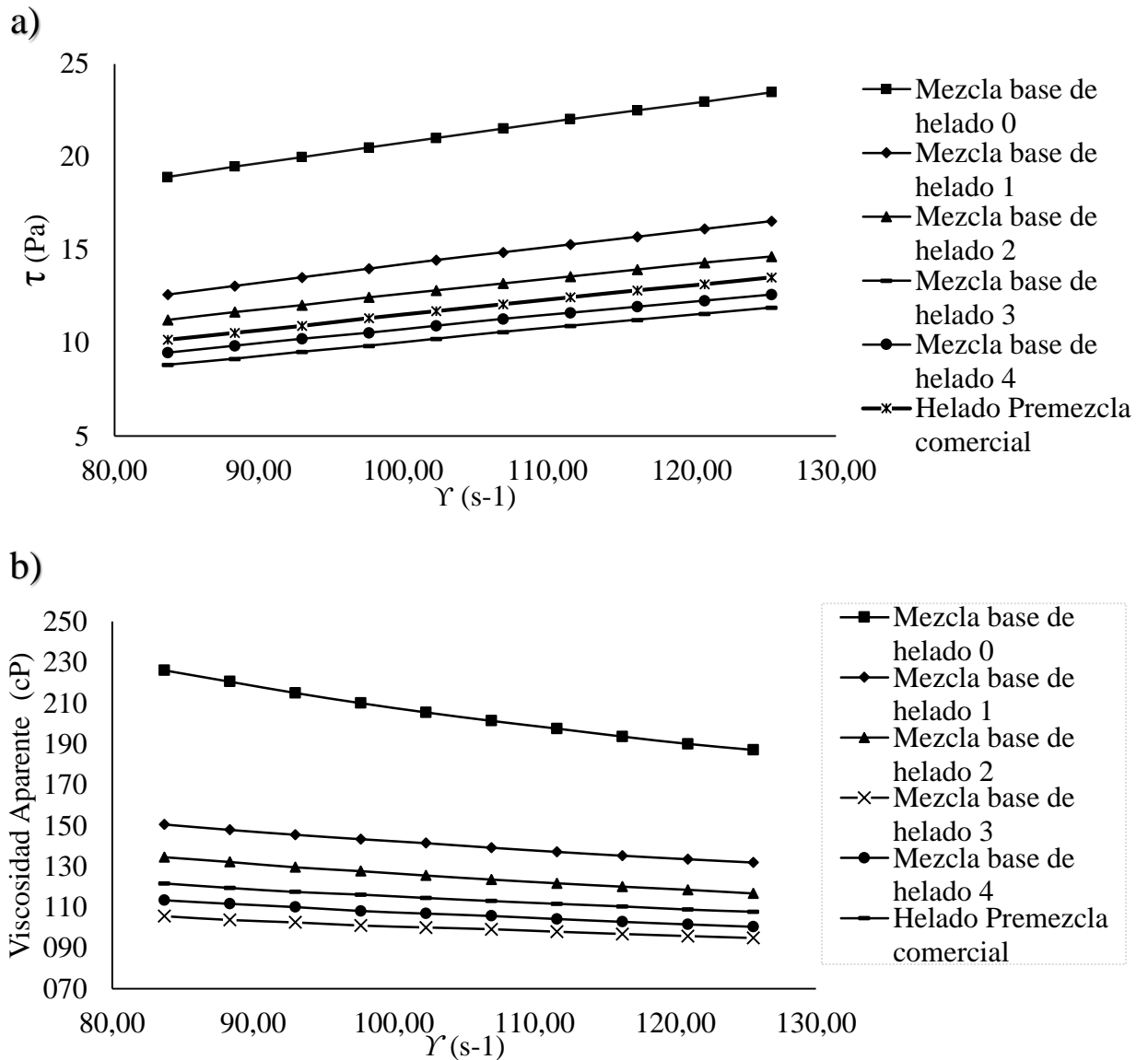
Para el cálculo del índice del comportamiento reológico se realizó a la reología de las mezclas estudiadas, en la Figura 16(a-b) se presentan los reogramas de las diferentes bases de helado *soft*. Se observó que las mezclas base de helado presentaron el comportamiento de un fluido no newtoniano (pseudoplástico) pues la viscosidad disminuyó al incrementarse el esfuerzo de corte, lo que está acorde a lo reportado por Mahdian *et al.* (2012), Tzia *et al.* (2008), Goff y Vega (2004) y Bahramparvar y Mazaheri (2011).

Los valores de esfuerzo de corte ( $\tau$ ) vs velocidad de corte presentado en la Figura 16 (a) se ajustaron al modelo de la ley de la potencia ( $\sigma = K\dot{\gamma}^n$ ), donde K es el índice de consistencia (Pa.s<sup>n</sup>) y n es el índice de comportamiento de flujo. Estos coeficientes de la ley de la potencia para los diferentes helados se muestran en el Cuadro 27.

**Cuadro 27: Resultados de los coeficientes del modelo de la ley de la potencias para las diferentes mezclas base de helado**

Mezcla base	Constantes reológicas de la base de helado		
	n	K	$r^2$
Helado <i>soft</i> 0	0,56	1,63	0,99
Helado <i>soft</i> 1	0,67	0,64	0,99
Helado <i>soft</i> 2	0,67	0,61	0,99
Helado <i>soft</i> 3	0,74	0,33	0,99
Helado <i>soft</i> 4	0,72	0,39	0,99
Helado <i>soft</i> comercial	0,71	0,44	0,99

Valores promedio de dos repeticiones



a) Esfuerzo de corte ( $\tau$ ) vs. Velocidad de corte ( $\gamma$ ), b) Viscosidad aparente vs. Velocidad de corte ( $\gamma$ )

### Figura 16: Reogramas de los diferentes helados

Valores promedio de dos repeticiones

Bahramparvar y Mazaheri (2011) mencionan que las constantes reológicas del modelo de la ley de la potencia para diferentes bases de helado, corresponden a fluidos de tipo pseudoplástico, los cuales se encuentran con valores de  $n$  entre 0,37 a 0,98 y valores de  $k$  entre 0,03 a 21,17. También, Mahdian *et al.* (2012) reportaron datos similares en helados *soft* de yogurt ( $n$  entre 0,65-0,80 y  $k$  entre 0,17-6,57).



Respecto a la densidad del helado y el índice de comportamiento reológico en conjunto, se observó que el tratamiento de helado *soft* 3 tiene características similares al helado comercial. Lo cual se debió a que este tratamiento tiene proporciones de mezcla entre almidón modificado y carboximetilcelulosa, muy similar a la mezcla obtenida por la función deseabilidad.

#### **4.4 Caracterización del helado *soft* con la mezcla adecuada de almidón modificado y carboximetilcelulosa**

En helado *soft* (Figura 17) fue preparado con 0,07125 por ciento (w/w) de carboximetilcelulosa y 2,2875 por ciento (w/w) de almidón modificado por acetilación y con 2,2875 por ciento (w/w) menos de sólidos lácteos no grasos (SLNG).



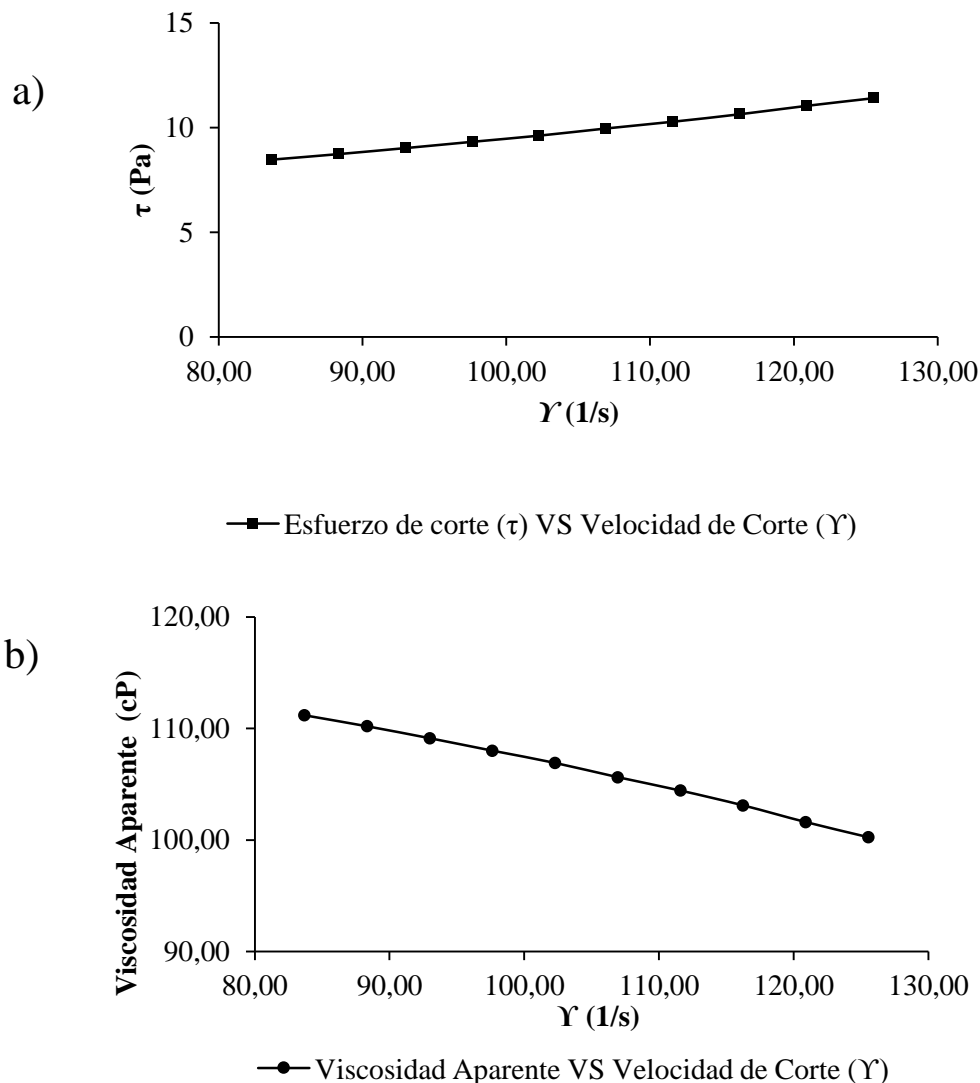
**Figura 17: Helado *soft* con mezcla de estabilizantes con cantidad adecuada de almidón modificado y carboximetilcelulosa**

En la Figura 18 se muestra el reograma de la mezcla base del helado óptimo, el cual se ajustó al modelo de la ley de la potencia para encontrar sus constantes reológicas (Cuadro 28)

En el Cuadro 28 se muestran las características determinadas para la formulación encontrada las cuales se encuentran dentro del rango previsto.

Mediante la prueba *t-student* (Anexo 10) a un nivel de significancia del 95 por ciento, no se encontraron diferencias significativas en las características entre el helado *soft*, con mezcla adecuada de almidón modificado y carboximetilcelulosa, y el helado *soft* comercial.

Sobre la aceptabilidad en general del helado con almidón modificado (Cuadro 29), se encontró de un total de 96 jueces no entrenados, que al 98,9 por ciento de estos les gusto el helado *soft*, y puntuaron en promedio, bajo una escala hedónica al helado con un 8,9 de 9.



**Figura 18: Reogramas de la mezcla base de helado *soft* con mezcla adecuada de almidón modificado y carboximetilcelulosa**

a) Esfuerzo de corte ( $\tau$ ) vs. Velocidad de corte ( $\gamma$ ), b) Viscosidad aparente vs. Velocidad de corte ( $\gamma$ )

Valores promedio de dos repeticiones

**Cuadro 28: Resultados de la caracterización del helado *soft* con mezcla adecuada de almidón modificado y carboximetilcelulosa**

Características		Helado <i>soft</i> con almidón modificado	Helado <i>soft</i> Comercial
	n	0,73	0.71
Constantes Reológicas	K (Pa.s <sup>n</sup> )	0,33	0.44
Viscosidad Aparente*	cP	104,3	117.03
<i>Overrun</i> *	%	53,1	53.4
Densidad de la mezcla base de helado*	(g/L)	1103,3	1091.5
Densidad del helado*	(g/L)	720,7	711.5
Estabilidad de emulsión	%	100	100

\*Promedio de tres repeticiones

**Cuadro 29: Evaluación sensorial del helado *soft*, con mezcla adecuada de almidón modificado y carboximetilcelulosa, mediante una escala Hedónica**

Calificativo Sensorial	Puntuación	Número de Consumidores	Calificación	%	Puntuación promedio
Me gusta extremadamente	9	10	Me Gusta	98,9	8,7
Me gusta mucho	8	66			
Me gusta bastante	7	19			
Me gusta ligeramente	6	1			
Ni me gusta ni me disgusta	5	0	Indiferente	0,01	
Me disgusta ligeramente	4	0			
Me disgusta bastante	3	0			
Me disgusta mucho	2	0	No me gusta	0	
Me disgusta extremadamente	1	0			
<b>TOTAL</b>		96	<b>Total</b>	100	

En el Cuadro 30 se muestra los costos de las mezclas base de helados *soft*: con mezcla adecuada de almidón modificado-carboximetilcelulosa y mezcla base helado normal (sin almidón modificado). Asimismo se aprecia que para el helado con almidón modificado, por litro de mezcla base se logró reducir 0,40 céntimos de nuevos soles por litro. El precio de cada insumo fue reportado a precio de proveedores de grandes industrias de alimentos del mercado.

Para la formulación de la mezcla base con mezcla adecuada de almidón modificado y carboximetilcelulosa en comparación de la mezcla base normal (sin almidón modificado), se logró una disminución en 9,04 por ciento del costo de insumos de toda la mezcla base.

**.Cuadro 30: Costo de la mezcla base de helado *soft* con mezcla adecuada de almidón modificado y carboximetilcelulosa**

Ingredientes	Formulaciones de base de helado (g)		Costo en nuevos soles S/.		
	BHAM <sup>a</sup>	BHCAO <sup>b</sup>	Precio Unitario por Kg	BHAM <sup>a</sup>	BHCAO <sup>b</sup>
Leche entera	500,0	500,0	3,0	1,5	1,5
Crema de leche 37%	68,0	68,0	10,0	0,7	0,7
Leche en polvo descremada	52,0	29,2	19,5	1,0	0,6
Almidón modificado	0,0	22,8	6,5	0,0	0,15
Sacarosa	155,0	155,0	3,0	0,5	0,5
Estabilizante	3,0	0,8	25,0	0,1	0,02
Emulsificante	3,0	3,0	14,0	0,04	0,04
Agua	219,0	219,0	0,5	0,1	0,1
Total	1000,0	1000,0	Costo por litro de base	3,89	3,53

<sup>a</sup> Base de helado sin Almidón Modificado; <sup>b</sup> Base de helado con almidón modificado.

## V. CONCLUSIONES

- El rendimiento de extracción de almidón de papa de var. única fue de 16,5 por ciento.
- La viscosidad de almidones modificados por acetilación varió entre 12 964,3 y 5428,6 cP para 5 y 15 por ciento de acetilación, respectivamente, comparado con 25000 cP en el almidón nativo.
- El grado de acetilación obtenido para los almidones modificados fue hasta 1,26 por ciento (en el mayor) y no sobrepasó los límites recomendados por la FAO (2007) y JEFCA (2001).
- El almidón con 15 por ciento de acetilación logró el mejor perfil funcional (menor viscosidad) para su aplicación como insumo en un helado *soft*.
- La sinergia entre los estabilizantes de almidón modificado por acetilación al 15 por ciento y carboximetilcelulosa en un helado *soft*, ocasionó que disminuya la densidad del helado comparado con otro que tenga solo un estabilizante (almidón modificado o carboximetilcelulosa).
- Todos los helados *soft* estudiados presentaron comportamiento pseudoplástico.
- Se obtuvo un helado *soft* con almidón modificado de características similares a un helado *soft* comercial, con una mezcla de estabilizantes de 0,071 por ciento de carboximetilcelulosa (correspondientes al 23,75 por ciento de mezcla de estabilizante) y 2,28 por ciento almidón modificado con 15 por ciento de acetilación (correspondiente al 76,25 por ciento de mezcla de estabilizante).
- La mezcla base de helado *soft* con almidón modificado y carboximetilcelulosa de características similares a un helado comercial presentó 53,1 por ciento de *overrun* en el helado y 104,3 cP de viscosidad aparente en la mezcla base.

- El helado *soft* elaborado con almidón modificado de características similares al helado comercial, tuvo una aceptabilidad de 98,7 por ciento entre 96 consumidores.
- El costo de insumos para la elaboración de helado *soft* con mezcla adecuada de almidón modificado y carboximetilcelulosa, disminuyó en 9,04 por ciento considerando precios comerciales de las materias primas.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Evaluar en otros sistemas alimentarios el uso del almidón modificado por acetilación como estabilizante, espesante y/o sustituto parcial de sólidos, en donde se encuentren cantidades adecuadas de aplicación.
- Realizar modificaciones múltiples (físicas y/o químicas) en la cual se considere la modificación por acetilación, para mejorar y ampliar las características funcionales del almidón nativo.
- Evaluar el costo de la modificación a nivel industrial y buscar métodos que puedan bajar los costos para que sean comparables con los almidones importados.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Adeyeye, A. Oyawale, F. 2008. Mixture experiments and their applications in welding flux design. Journal of the Brazil society of mechanical Science and Engineering. 30 (4) 319:326
2. Amani, N., Tetchi F., Dufour, D. Kamenan A. 2002. A comparative study of syneresis of Yam Starches and other modified starches. The journal of Food Technology in Africa 7 (1).
3. Aime, D., Arntfield, S., Malcolmson, L., Ryland, D. 2001. Textural analysis of fat reduced vanilla ice cream products. Food Research International 34: 237-246.
4. Akin, M., Akin, M. 2009. Physical and Sensory Characteristics of Reduced Fat Yogurt Ice Cream as Influenced By Fat Replacers. Journal of the Faculty of Agriculture of Harran University. 13 (3): 23-30.
5. Andina. 2010. Noticia del 18/05/2010 “Ministro de Agricultura inaugura primera planta de almidón en Andahuaylas. Disponible en <http://www.andina.com.pe/espanol/Noticia.aspx?id=5hrLhE6+Lg4=#.UqFLyMTuJy> U visitado el 4 agosto del 2013.
6. Agrodata. 2013. Papa fécula importación Diciembre 2012. Disponible en <http://www.agrodataperu.com/2013/01/papa-fecula-peru-importacion-diciembre-2012.html>. visitado el 08 agosto del 2013.
7. AOAC. 1995. Official Methods of Analysis. 16th Edition. Association of Official Analytical Chemist. AOAC International. Washington DC. USA.
8. Aprianita, A., Vasiljevic, T., Purwandari, U., Watson, B. 2009. Physico-chemical properties of flours and starches from selected commercial tubers available in Australia. International Food Research Journal 16: 507-520.



9. Ayucitra, A. 2012. Preparation and Characterisation of Acetylated Corn Starches. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 3 (3).
10. Bahramparvar, M., Tehrani, M. 2011. Application and Functions of Stabilizers in Ice Cream. *Food Reviews International*, 27: 389-407, 2011.
11. Bello, L., Contreras, S., Romero, R., Solorza J., Jiménez, A. 2002. Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano *Musa paradisiaca* L. (Var. Macho). *Agrociencia*. 36 (2).
12. Bello, L.; Agama, E.; Zamudio, P.; Méndez, G.; Rodríguez, S. 2010. Effect of low and high acetylation degree in the morphological, physicochemical and structural characteristics of barley starch. *LWT – Food Science and Technology* 43: 1434 - 1440.
13. Bemiller, J. y Whistler, R. 2009. *Starch: Chemistry and technology*. Third Edition. Editorial Academic Press, Burlington, MA. USA. 879 p.
14. Bertolini, A. 2010. *Starches: Characterization, properties and Applications*. First Edition. Editorial CRC Press: Taylor & Francis group. USA. 276 p.
15. Box, G. y Draper, N. 2007. *Response surface, mixtures, and ridge analyses*. Second Edition. Editorial Wiley series in Probability and Statistics. USA. 857 p.
16. Cornell, J 2011. *A primer on experiments with mixtures*. First Edition.. Editorial Wiley series in Probability and Statistics. USA. 351 p.
17. Cornell, J 2002. *Experiments with mixtures: Designs, models, and the analysis of mixture data*. Third Edition. Editorial Wiley series in Probability and Statistics. USA. 649p.
18. CIP. 2014. Catálogo del CIP de variedades de papa: CIP 392797.22 – ÚNICA. Disponible en [https://research.cip.cgiar.org/red\\_varie/pages/brochure.php?variedad=392797.22](https://research.cip.cgiar.org/red_varie/pages/brochure.php?variedad=392797.22) visitado el 3 de mayo del 2014.
19. Corvitto, A. 2004. *Los secretos del helado el helado sin secretos*. Primera Edición. Editorial Vilvo. Barcelona, España. 415 p.
20. Cui, S. 2005. *Food Carbohydrates: Chemistry, physical properties and applications*. First edition. Editorial CRC Press, Taylor & Francias Group, LL.C USA. 411 p.

21. CYTED. 2000. Manual de métodos de caracterización de carbohidratos. Editado por Escuela Politécnica Nacional: Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología. Quito – Ecuador.
22. Eliasson, A. 2004. Starch in food: Structure, function and applications. First Edition. Editorial Cambridge: Woodhead Published. England. 597p.
23. Espinosa, V. 2008. Estudios Estructurales de almidón de fuentes no convencionales: Mango (*Mangifera indica L.*) y plátano (*Musa paradisiaca L.*). Tesis para optar el grado de Maestría en Ciencia en Desarrollo de Productos Bióticos. Centro de Desarrollo de Productos bióticos. Instituto Politécnico Nacional. Yautepec, México.
24. Fairbourn, D. 2008. In china, Anything is posible: Exploring US opportunities with world's largest potato producer. Disponible en <http://www.potatoesusa.com/articleDetail.php?id=6> visitado el 2 de mayo del 2014.
25. Gestion, 2014. Noticia de lunes 3 de febrero 2014: “Para el 2017 habrá 1 133 heladerías en el mercado peruano. Disponible en <http://gestion.pe/tendencias/2017-habra-1133-heladerias-mercado-peruano-2088020> visitado el 1 de agosto del 2014.
26. Gutiérrez, P. 2008. Evaluación del uso de una mezcla de estabilizantes conteniendo goma de tara en la elaboración de helados. Tesis para optar el grado Ingeniero de Alimentos. Facultad de Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú.
27. Gutiérrez, H., De La Vara. 2008. Análisis y diseño de experimentos. Segunda Edición. Editorial McGraw-Hill. México. 545 p.
28. Gómez, R.; Wong, D. 1998. Procesamiento de la papa. Revista Agroecológica Indoagro. Lima, Perú. Año 1. 5:4-7. Disponible en <http://www.todopapa.com.ar/pdf/procesamientosdelapapa.pdf>.
29. Goff, H y Hartel, R. 2013. Icecream. Seventh Edition. Editorial Springer Science, New york. USA. 462 p.
30. Goff, H.; Vega, C. 2005. Phase separation in soft – serve ice cream mixes: rheology and microstructure. International Dairy Journal 15: 249-254.

31. Icontec. 2002. NTC 1239:2002. Helados y Mezclas base de helado. Segunda edición. Icontec Bogotá. Colombia.
32. Imeson, A. 2010. Food Stabilizers, Thickeners and Gelling Agents. First Edition. Editorial Blackwell publishing Ltd. USA. 352p.
33. Indecopi. 2006. NTP 202.057:2006 Leche y productos lácteos: helados. Requisitos. Segunda edición. Indecopi Lima. Perú.
34. Jiménez, M. 2009. Efecto de la fertilización química y de la aplicación de materia orgánica en el cultivo de papa (*solanum tuberosum L.*) Cv. Canchan en el valle del Mantaro. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima – Perú.
35. JEFGA. 2001. Modified Starches. FNP 52 (9). USA.
36. Kadivar, M.; Shahedi, M; Mirmoghtadaie, L. 2009. Effects of cross-linking and acetylation on oat starch properties. Food Chemistry 116: 709-713.
37. Kaur, L., Singh, J., McCarthy, O., Singh, H. 2007. Physico-chemical, rheological and structural properties of fractionated potato starches. Journal of Food Engineering 82: 383-394.
38. Lal, S., O' Connor, J., Eyres, L. 2006. Application of emulsifiers/stabilizers in dairy products of high rheology. Advances in Colloid and Interface Science. 123-126: 433-437.
39. Lawal, O., Ogundiran O., Awokoya, K., Ogunkunle, A. 2008. The low-substituted propylene oxide etherified plantain (*Musa paradisiaca normalis*) starch: Characterization and functional parameters. Carbohydrate Polymers 74 (2008) 717-724.
40. López, F., Sepúlveda, J. 2012. Evaluación de sustituyentes de sólidos no grasos (SNG) en una mezcla de helado duro de leche con grasa vegetal. VITAE, Revista de la facultad química farmacéutica. 19(2): 197-206.
41. Madrid, A., Cenzano, I. 2003. Helados, elaboración y análisis de control de calidad. Editorial Mundi Prensa. Madrid – España.

42. Marshall, R., Goff, D., Hartel, R. 2003. Ice cream. Sixth Edition. Editorial Kluwe Academic/Plenum Publishers. New York, USA.
43. Mahdian, E., Tehrani, M., Nobahari, M. 2012. Optimizing Yoghurt-Ice Cream mix blend in Soy Based Frozen Yoghurt. Journal of Agricultural Science Technology. 14: 1275-1284.
44. Moreno, J. 2000. Calidad de papa para usos industriales. Boletín de la papa 2: 1-7. Disponible en <http://www.todopapa.com.ar/pdf/calidadpapaparausosindustriales.pdf> visitado el 12 de agosto del 2013.
45. Melian, D. 2010. Ensayo comparativo de dos metodologías de extracción de almidón de papa usando muestras de diez variedades nativas de Chile y dos variedades comerciales. Tesis para optar el grado de licenciado en Ciencia de Alimentos. Escuela de Ingeniería de los Alimentos. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.
46. MINAG. 2010. Listado de variedades peruanas de papa 2010. Editorial Centro de Documentación Agraria- CENDOC, MINAG. Perú. 15p.
47. Moghaddam, M., Mizani, N., Salehifar, M., Gerami, A. 2013. Effect of Waxy Maize Starch (Modified, Native) on Physical and Rheological Properties of French Dressing During Storage. World Applied Sciences Journal 21 (6): 819-824.
48. Muro, J. 2012. La Papa: Principales aspectos de la cadena Agro productiva. 1era Edición. Editorial Centro de Documentación Agraria- CENDOC, MINAG. Perú. 35p.
49. Nathaniel, T.; Sunday, A.; Ayobamidele, A. 2012. Effect of suphiting on the Physical and Functional Properties of Acetylated Cassava (*Manihot esculenta*) starch. Global Science books food 6 (1), 38-43.
50. Nuñez, M. 2002. Optimización de múltiples respuestas por el método de la función de conveniencia para un diseño de mezclas. Revista Investigación operacional 23: (1) 83-89.
51. Oehlert, G. 2010. A first course in design an analysis of experiments. Editorial University of Minnesota. USA. 659 P.

52. OIA La libertad. 2014. Boletín del precio mayorista de la papa según su variedad y calidad. Disponible en <http://www.agrolalibertad.gob.pe/?q=node/149> visitado el 20 de abril del 2014.
53. Posada, L; Sepúlveda, D; Restrepo, D. 2012. Selección y evaluación de un estabilizante integrado de gomas sobre las propiedades de calidad en mezclas para helado duro. VITAE, Revista de la facultad química farmacéutica. 19(2): 166-177.
54. Prieto, J.; Trejo, C. Prieto, F.; Méndez, M.; Bello, L.; Román, A. 2010. Acetilación y caracterización del almidón de Cebada. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales 6 (1): 32-43.
55. Quevedo, M. 2014. Situación actual del cultivo de papa y su cadena agroproductiva (entrevista 30 de abril del 2014). MINAGRI - Dirección General de competitividad Agraria. Lima - Perú
56. Raina, C; Singh, S; Bawa, D; Saxena, D. 2006. Some characteristics of acetylated, crosslinked and dual modified Indian rice starches. Eur. Food Research Technology 223: 561-570.
57. Razavi, S., Tehrani, M., Alipour, A., Bahramparvar, M. 2013. Optimization of Functional Properties of Three Stabilizers and K-carrageenan in Ice Cream and Study of their Synergism. Journal of Agricultural Science Technology. 15: 757-769.
58. Razavi, S.; BahramParvar, M.; Khodaparast, M. 2010. Rheological Characterization and Sensory Evaluation of Typical Soft Ice cream Made with Selected Food Hydrocolloids. Food Science and Technology International 16 (1): 0079-88.
59. Rincon, A; Bou, L; Aragoza, L; Padilla, F. 2007. Efecto de la acetilación y oxidación sobre algunas propiedades del almidón de semillas de Fruto de pan (*Artocarpus altilis*). Archivos Latinoamericanos de Nutrición 57 (3).
60. Rivas, M. 2012. Almidón acetilado de plátano: Caracterización fisicoquímica y molecular". Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencia de los Alimentos. Programa de Posgrado en alimentos del Centro de la Republica (PROPAC). Querétaro, México.

61. Saavedra, N. 2009. Elaboración de chips de yuca (*manihot esculenta*) y determinación de su vida en anaquel. Tesis para optar el grado de *Magister Scientiae* en Tecnología de Alimentos. Escuela de Post – Grado. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú.
62. Salwa, A; Hanan, A; Nesserien, N. 2010. Physicochemical Properties of Starch Extracted from Different Sources and Their Application in Pudding and White Sauce. *World Journal of Dairy & Food Sciences* 5 (2): 173-182.
63. SIEA. 2013. Sistema Integral de Estadística Agrario. Edición diciembre. Editado por OEEE-MINAGRI Perú.
64. Singh, J. y Kaur, L. 2009. *Advances in potato chemistry and technology*. First Edition. Editorial Academic Press, Burlington, MA. USA. 508 p.
65. Takahiro, N.; Yamauchi, H.; Arachchige, H.; Wickramasinghe, M.; Yamamoto, K. 2009. Effect of Low Level of Starch Acetylation on Physicochemical Properties of Potato Starch. *Food Science and Biotechnology*. 18 (1):118 -123.
66. Tehrani, M., Moeenfarid, M. 2008. Effect of Some Stabilizers on the Physicochemical and Sensory Properties of Ice Cream Type Frozen Yogurt. *American Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science*., 4(5):584-589.
67. Tharanathan, R. 2005. Starch – Value addition by modification. *Reviews in Food Science and Nutrition*, 45: 371-384.
68. Thomas, D. y Atwell W. 1998. *Starches*. First Edition. Editorial St. Paul, MN: Eagan Press. UK. 94p.
69. Tovar, T. 2008. Caracterización morfológica y térmica del almidón de maíz (*Zea Mays L*) obtenido por diferentes métodos de aislamiento. Tesis para optar el grado de licenciado en Química en Alimentos. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México.
70. Tzia, C., Chandrinou, I., Soukoulis, C. 2008. Study of the functionality of selected hydrocolloids and their blends with k-carrageenan on storage quality of vanilla ice cream. *Food Science and Technology* 41: 1816-1827. Grecia.

71. Vásquez, L. 2009 Evaluación de la eficiencia de insecticidas para el control químico de adultos y larvas de *Liriomyza huidobrensis* Blanchard en dos variedades de papa. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú.
72. Yaipén, R. 2013. Perú tiene la colección más grande de variedades de papa del mundo. Disponible en <http://www.agraria.pe/noticias/peru-tiene-la-coleccion-mas-grande-de-variedades-de-papa-del-mundo> visitado el 12 de agosto del 2013.

## VIII. ANEXOS

### ANEXO 1

#### FICHA DE EVALUACIÓN SENSORIAL APLICADA AL HELADO SOFT

<b>No:....</b>	
<b>EVALUACIÓN SENSORIAL DE HELADO SOFT</b>	
<b>NOMBRES Y APELLIDOS:</b> ..... .....	<b>FECHA:</b> .../.../... <b>HORA:</b> .....
<b>1. INDICACIONES</b> Ud. Evaluará el helado de vainilla en cuanto a su nivel de gusto.  Marque en la escala, con un aspa, el renglón que corresponda a la calificación para cada muestra.	
<b>ESCALA</b>	<b>Gusto (AG)</b>
Me gusta extremadamente	
Me gusta mucho	
Me gusta bastante	
Me gusta ligeramente	
Ni me gusta ni me disgusta	
Me disgusta ligeramente	
Me disgusta bastante	
Me disgusta mucho	
Me disgusta extremadamente	
<b>AG: Aceptabilidad General</b>	
<b>2. OBSERVACIONES</b> <hr/> <hr/> <hr/>	
<b>Muchas Gracias por su Participación</b>	



## ANEXO 2

### RESULTADOS Y ESTADÍSTICOS, DE LA EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN ÚNICA

**Cuadro 2.1: Rendimiento de la extracción**

Registro	Repetición		Promedio
	1	2	
Peso de la papa (g)	649,3	680,1	664,7
Merma de todos los filtrados (g)	542,8	566,7	554,75
Peso total de almidón extraído (g)	106,5	113,4	109,95
% Rendimiento de extracción	16,40	16,67	16,5

**Cuadro 2.2: Resultados del análisis proximal del almidón de papa Avebe y el almidón  
de papa Única**

Almidón	Repetición	Humedad	Ceniza	Proteína	Grasa	Carbohidratos*
		(% b.h)	(% b.s)	(% b.s)	(% b.s)	(% b.s)
Var. Única	1	6,86	0,40	0,47	0,21	98,91
	2	7,02	0,45	0,54	0,32	98,68
	3	7,00	0,42	0,41	0,36	98,81
	Promedio	6,96	0,43	0,47	0,30	98,80
Avebe	1	17,91	0,28	0,18	0,18	99,36
	2	17,82	0,28	0,36	0,36	99,00
	3	18,08	0,27	0,29	0,21	99,23
	Promedio	17,94	0,28	0,28	0,25	99,20

\* Hallado por diferencia.

### Sección 2.3: *t-student* para la comparación de la composición proximal entre el almidón de papa Avebe y el almidón de papa Única

#### Resumen Estadístico para la comparación de la composición proximal de los almidones nativos

Recuento	4
Promedio	-0,0025
Desviación Estándar	0,271462
Mínimo	-0,4
Máximo	0,19
Rango	0,59

#### Prueba de Hipótesis para la comparación de la composición proximal de los almidones nativos

Media Muestral = -0,0025

Mediana Muestral = 0,1

Desviación Estándar de la Muestra = 0,271462

#### Prueba *t*

Hipótesis Nula: media = 0,0

Alternativa: no igual

Estadístico *t* = -0,0184188

*p-value* = 0,986461

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05.

**Cuadro 2.4: Resultados de la claridad de pastas del almidón de papa avebe y el almidón de papa única**

Almidón	Repetición	Claridad de Pasta (% Transmitancia)			
		0 h	24 h	48 h	72 h
Única	1	56,4	9,4	4,7	1,5
	2	58,3	9,8	5,4	1,8
	Promedio	57,4	9,6	5,1	1,7
Avebe	1	66,4	11,3	4,7	2,1
	2	67,8	10,6	5,4	2,2
	Promedio	67,1	11,0	5,1	2,2

**Sección 2.5: *t* - student para el comportamiento de la claridad de pasta entre el almidón de papa Avebe y el almidón de papa Única**

Resumen Estadístico para el comportamiento de la Claridad de los almidones

Recuento	4
Promedio	-2,9
Desviación Estándar	4,57019
Mínimo	-9,7
Máximo	0,0
Rango	9,7

Prueba de Hipótesis para el comportamiento Claridad de los almidones

Media Muestral = -2,9

Mediana Muestral = -0,95

Desviación Estándar de la Muestra = 4,57019

Prueba t

Hipótesis Nula: media = 0,0

Alternativa: no igual

Estadístico t = -1,26909

*p*-value = 0,293925; no se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05.

**Cuadro 2.6: Resultados de la sinéresis del almidón de papa Avebe y el almidón de papa Única**

Almidón	Repetición	Sinéresis ( % de agua eliminada)										
		Día 0	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10
Única	1	3,68	26,15	32,80	35,80	37,88	47,18	50,34	52,40	52,45	53,50	53,51
	2	4,16	27,47	43,24	50,53	50,47	51,41	52,49	52,52	52,52	52,58	52,65
	Promedio	3,9	26,8	38,0	43,2	44,2	49,3	51,4	52,5	52,5	53,0	53,1
Avebe	1	0,95	6,63	24,45	28,93	37,26	39,70	50,71	50,80	50,81	50,94	50,86
	2	1,17	4,02	14,18	27,16	34,52	43,91	50,27	50,71	50,71	50,71	50,71
	Promedio	1,1	5,3	19,3	28,0	35,9	41,8	50,5	50,8	50,8	50,8	50,8

**Sección 2.7: *t student* para el comportamiento de la sinéresis entre el almidón de papa Avebe y el almidón de papa Única**

Resumen Estadístico para la comparación del comportamiento de la Sinéresis de los almidones

Recuento	11
Promedio	7,52727
Desviación Estándar	7,546
Mínimo	0,9
Máximo	21,5
Rango	20,6

Prueba de Hipótesis para el comportamiento de la Sinéresis de los almidones

Media Muestral = 7,52727

Desviación Estándar de la Muestra = 7,546

Prueba t

Hipótesis Nula: media = 0,0

Alternativa: no igual

Estadístico t = 3,30839

*p-value* = 0,00790074

Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05.

**Cuadro 2.8: Resultados de la viscosidad aparente del almidón de papa Avebe y el almidón de papa Única**

Almidón	Repetición	Viscosidad Aparente ( cP )	% Torque
Única	1	24964,57	69,94
	2	25035,71	70,07
	Promedio	25000,1	70,0
Avebe	1	28321,43	79,25
	2	28250,00	79,14
	Promedio	28285,7	79,195

### ANEXO 3

## RESULTADOS Y ESTADÍSTICOS DE LA MODIFICACIÓN DE LOS ALMIDONES

**Cuadro 3.1: Resultados de viscosidad aparente, grado de sustitución y grado de acetilación**

Almidón	Nivel de Acetilación*	R**	Resultados de Viscosidad						
			Aparente		Por ciento de acetilación	Grado de Sustitución			
			Viscosidad cP	Promedio					Por ciento Torque
Única	0%	1	24964,57	25000,1	69,94	-	-	-	-
		2	25035,71		70,07				
Avebe	0%	1	28250,00	28285,7	79,25	-	-	-	-
		2	28321,43		79,14				
Única	5%	1	13071,43	12964,3	36,56	0,45	0,44	0,017	0,017
		2	12857,14		35,99	0,42		0,016	
Avebe	5%	1	20178,57	20321,4	56,54	0,38	0,37	0,014	0,014
		2	20464,29		57,28	0,35		0,013	
Única	10%	1	7107,14	7160,7	19,90	0,85	0,87	0,032	0,033
		2	7214,29		20,18	0,89		0,034	
Avebe	10%	1	15464,29	15500,0	43,31	0,43	0,46	0,016	0,017
		2	15535,71		43,53	0,49		0,019	
Única	15%	1	5321,43	5428,6	14,89	1,25	1,26	0,048	0,048
		2	5535,71		15,48	1,27		0,048	
Avebe	15%	1	9107,14	9035,7	25,52	0,95	0,95	0,036	0,036
		2	8964,29		25,11	0,96		0,036	

\* Por ciento en peso de Anhídrido acético respecto al peso de la muestra en base seca

\*\*Repetición

**Cuadro 3.2: ANVA del DBCA de la viscosidad aparente**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>p-value</i>
<b>EFFECTOS</b>					
<b>PRINCIPALES</b>					
A:Por ceinto de Acetilación	8,44834E8	3	2,81611E8	154,73	0,0000
B:BLOQUE	1,27567E8	1	1,27567E8	70,09	0,0000
Error	2,00206E7	11	1,82006E6		
<b>TOTAL</b>	<b>9,92422E8</b>	<b>15</b>			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

**Cuadro 3.3: Pruebas de comparación de medias (LSD de Fisher) para la viscosidad aparente por porcentaje de acetilación**

<i>% de Acetilación</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
15 %	4	7232,14	674,548	X
10 %	4	11330,4	674,548	X
5 %	4	16642,9	674,548	X
0 %	4	26642,9	674,548	X
<i>Contraste</i>	<i>Significancia</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>	
0 % - 10 %	*	15312,6	2099,64	
0 % - 15 %	*	19410,8	2099,64	
0 % - 5 %	*	10000,1	2099,64	
10 % - 15 %	*	4098,22	2099,64	
10 % - 5 %	*	-5312,5	2099,64	
15 % - 5 %	*	-9410,72	2099,64	

\* Significativo

**Cuadro 3.4: ANVA del DBCA del porcentaje de grupos acetilos (GA)**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>p-value</i>
<b>EFFECTOS</b>					
<b>PRINCIPALES</b>					
A:Almidón Modificado	0,205408	1	0,205408	25,53	0,0010
B:% de Acetilación	1,02212	2	0,511058	63,52	0,0000
RESIDUOS	0,0643667	8	0,00804583		
TOTAL	1,29189	11			
<b>(CORREGIDO)</b>					

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

**Cuadro 3.5: Pruebas de comparación de medias (LSD de Fisher) para el porcentaje de grupos acetilos (ga) por porcentaje de acetilación**

<i>% de Acetilación</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
5 %	4	0,4	0,0448493	X
10 %	4	0,665	0,0448493	X
15 %	4	1,1075	0,0448493	X
<i>Contraste</i>	<i>Significancia</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>	
10 % - 15 %	*	-0,4425	0,146262	
10 % - 5 %	*	0,265	0,146262	
15 % - 5 %	*	0,7075	0,146262	

\* Significativo



**Cuadro 3.6: ANVA del DBCA del grado de sustitución (GS)**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>p-value</i>
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:Almidón Modificado	0,000310083	1	0,000310083	27,36	0,0008
B:% de Acetilación	0,00148617	2	0,000743083	65,57	0,0000
<b>RESIDUOS</b>	0,0000906667	8	0,0000113333		
<b>TOTAL</b>	0,00188692	11			

(CORREGIDO)

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

**Cuadro 3.7: Pruebas de comparación de medias (LSD de Fisher) para el grado de sustitución (GS) por nivel de acetilación**

<i>Porcentaje de Acetilación</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
5 %	4	0,015	0,00168325	X
10 %	4	0,02525	0,00168325	X
15 %	4	0,042	0,00168325	X
<i>Contraste</i>	<i>Significancia</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>	
10 % - 15 %	*	-0,01675	0,0054894	
10 % - 5 %	*	0,01025	0,0054894	
15 % - 5 %	*	0,027	0,0054894	

\* Significativo

**Cuadro 3.8: Resultados de claridad de pastas de los almidones modificados**

Almidón	Nivel de Acetilación*	Repetición	Claridad de Pasta (% Transmitancia)			
			0 h	24 h	48 h	72 hr
Única	0%	1	56,4	9,4	4,7	1,5
		2	58,3	9,8	5,4	1,8
		Promedio	57,4	9,6	5,1	1,7
Avebe	0%	1	66,4	11,3	4,7	2,1
		2	67,8	10,6	5,4	2,2
		Promedio	67,1	11,0	5,1	2,2
Única	10%	1	22,3	13,4	8,1	3,9
		2	21,9	13,1	7,6	3,8
		Promedio	22,1	13,25	7,85	3,85
Modificado	15%	1	25,6	16,3	9,3	4,6
		2	28,4	16,8	8,9	4,2
		Promedio	27	16,55	9,1	4,4

\* Porcentaje en peso de Anhídrido acético respecto al peso de la muestra en base seca

**Cuadro 3.9: Resultados de sinéresis de los almidones modificados**

Almidón	Nivel de Acetilación*	Repetición	Sinéresis ( % de agua eliminada)										
			Día 0	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10
Única	0%	1	3,68	26,15	32,80	35,80	37,88	47,18	50,34	52,40	52,45	53,50	53,51
		2	4,16	27,47	43,24	50,53	50,47	51,41	52,49	52,52	52,52	52,58	52,65
		Promedio	3,9	26,8	38,0	43,2	44,2	49,3	51,4	52,5	52,5	53,0	53,1
Avebe	0%	1	0,95	6,63	24,45	28,93	37,26	39,70	50,71	50,80	50,81	50,94	50,86
		2	1,17	4,02	14,18	27,16	34,52	43,91	50,27	50,71	50,71	50,71	50,71
		Promedio	1,1	5,3	19,3	28,0	35,9	41,8	50,5	50,8	50,8	50,8	50,8
Única Modificado	10%	1	0,21	4,43	35,26	35,25	35,27	35,27	35,27	35,27	35,27	35,27	35,27
		2	0,15	3,12	32,23	35,40	35,41	35,41	35,41	35,41	35,41	35,41	35,41
		3	0,43	3,58	31,73	34,96	35,10	35,10	35,10	35,10	35,10	35,10	35,10
		Promedio	0,26	3,71	33,07	35,20	35,26	35,26	35,26	35,26	35,26	35,26	35,26
	15%	1	0,05	0,14	25,13	31,19	31,17	31,17	31,17	31,17	31,17	31,17	31,17
		2	0,00	0,67	24,93	30,91	30,92	30,92	30,92	30,92	30,92	30,92	30,92
		3	0,11	0,50	30,76	30,77	30,78	30,78	30,78	30,78	30,78	30,78	30,78
Promedio	0,05	0,44	26,94	30,96	30,96	30,96	30,96	30,96	30,96	30,96	30,96		

\* Por ciento en peso de Anhídrido acético respecto al peso de la muestra en base seca

**Cuadro 3.10: Resultados del análisis proximal del almidón modificado seleccionado para el uso en helados**

Almidón	R*	Humedad (% b.h)	Ceniza (% b.s)	Proteína (% b.s)	Grasa (% b.s)	Carbohidratos ** (% b.s)
Única Modificado 15% de Anhidrido	1	10,47	0,35	0,33	0,16	99,16
	2	10,57	0,32	0,31	0,19	99,18
	3	10,86	0,30	0,36	0,15	99,18
	Promedio	10,6	0,32	0,33	0,17	99,18

\* Repetición

\*\* Hallado por diferencia

**Sección 3.11: *t-student* para la comparación de la composición proximal entre el almidón modificado var. Única seleccionado y el almidón var.Única sin modificar**

Resumen Estadístico para la comparación de la composición proximal de los almidones

Recuento	4
Promedio	0,0
Desviación Estándar	0,25364
Mínimo	-0,38
Máximo	0,14
Rango	0,52

Prueba de Hipótesis la comparación de la composición proximal de los almidones

Media Muestral = 0,0

Mediana Muestral = 0,12

Desviación Estándar de la Muestra = 0,25364

Prueba t

Hipótesis Nula: media = 0,0

Alternativa: no igual

Estadístico t = 0,0

*p-value* = 1,0, no se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05.

## ANEXO 4

### RESULTADOS DE LAS VARIABLES RESPUESTA DEL DISEÑO DE MEZCLAS

Nomenclatura	*R	Carboximetilcelulosa	Almidón Modificado	% <i>Overrun</i>		Viscosidad Aparente cP	
Helado 0	1	1	0	51,4	51,7	238,7	234,3
	2	1	0	52,1	5	229,9	
Helado 4	1	0	1	47,4	46,5	112,3	113,4
	2	0	1	45,7	5	114,5	
Helado 2	1	0,5	0,5	57,3	56,8	133,1	131,65
	2	0,5	0,5	56,4	5	130,2	
Helado 1	1	0,75	0,25	56,8	57,9	147,7	148,2
	2	0,75	0,25	59		148,7	
Helado 3	1	0,25	0,75	53,4	53	93,7	95,05
	2	0,25	0,75	52,6		96,4	
Helado	1	0,25	0,75	53,7	53,4	120,0	117,03
Premezcla						1	
Comercial	2	0,25	0,75	53,1		5	

\*Repetición

## ANEXO 5

### ESTADÍSTICOS DEL DISEÑO DE MEZCLAS PARA LA VARIABLE *OVERRUN*

**Cuadro 5.1: Efectos estimados del modelo completo**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>p-value</i>
Media	28313,0	1	28313,0		
Bloques	0,025	1	0,025	0,00	0,9734
Lineal	46,818	1	46,818	2,70	0,1446
Cuadrático	112,0	1	112,0	70,40	0,0002<
Cúbico	4,232	1	4,232	3,98	0,1025
Error	5,314	5	1,0628		
Total	28481,4	10			

**Cuadro 5.2: Coeficientes de determinación  $R^2$  y  $R^2$  (ajustado)**

<i>Modelo</i>	<i>ES</i>	<i>R-Cuadrada</i>	<i>R-Cuadrada Ajd.</i>
Lineal	4,16698	27,82	7,19
Cuadrático	1,26135	94,33	91,50
Cúbico	1,03092	96,84	94,32

**Cuadro 5.3: ANVA para la variable *overrun***

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>p-value</i>
Modelo	158,843	3	52,9477	33,28	0,0004
Cuadrático					
Error total	9,546	6	1,591		
Total (corr.)	168,389	9			

**Cuadro 5.4: Coeficientes del modelo cuadrático ajustado**

<i>Parámetro</i>	<i>Error</i>		<i>Estadístico</i>	
	<i>Estimado</i>	<i>Estándar</i>	<i>T</i>	<i>p-value</i>
A:Estabilizante	52,27	0,839396		
Carboximetilcelulosa				
B:ALMIDON MODIFICADO	46,15	0,839396		
AB	32,0	3,81396	8,39023	0,0002

R-cuadrada = 94,331 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 91,4965 por ciento

## ANEXO 6

### ESTADÍSTICOS DEL DISEÑO DE MEZCLAS PARA LA VARIABLE VISCOSIDAD APARENTE

**Cuadro 6.1: Efectos estimados del modelo completo**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>p-value</i>
Media	208860,	1	208860,		
Bloques	3,364	1	3,364	0,00	0,9738
Lineal	17399,1	1	17399,1	20,44	0,0027
Cuadrático	5094,9	1	5094,9	35,43	0,0010<
Cúbico	42,632	1	42,632	0,26	0,6319
Error	820,216	5	164,043		
Total	232221,	10			

**Cuadro 6.2: Coeficientes de determinación  $R^2$  y  $R^2$  (ajustado)**

<i>Modelo</i>	<i>ES</i>	<i>R-Cuadrada</i>	<i>R-Cuadrada Ajd.</i>
Lineal	29,1737	74,50	67,21
Cuadrático	11,992	96,31	94,46
Cúbico	12,8079	96,49	93,68

**Cuadro 6.3: ANVA para la variable viscosidad aparente**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>p-value</i>
Modelo	22497,4	3	7499,12	52,15	0,0001
Cuadrático					
Error total	862,848	6	143,808		
Total (corr.)	23360,2	9			



**Cuadro 6.4: Coeficientes del modelo cuadrático ajustado**

<i>Parámetro</i>	<i>Error</i>		<i>Estadístico</i>	
	<i>Estimado</i>	<i>Estándar</i>	<i>T</i>	<i>p-value</i>
A:Estabilizante Carboximetilcelulosa	230,489	7,98038		
B:ALMIDON MODIFICADO	112,509	7,98038		
AB	-215,829	36,2604	-5,95218	0,0010

R-cuadrada = 96,3063 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 94,4595 por ciento

## ANEXO 7

### ESTADÍSTICOS DE LA FUNCIÓN DESEABILIDAD PARA MÚLTIPLES RESPUESTAS

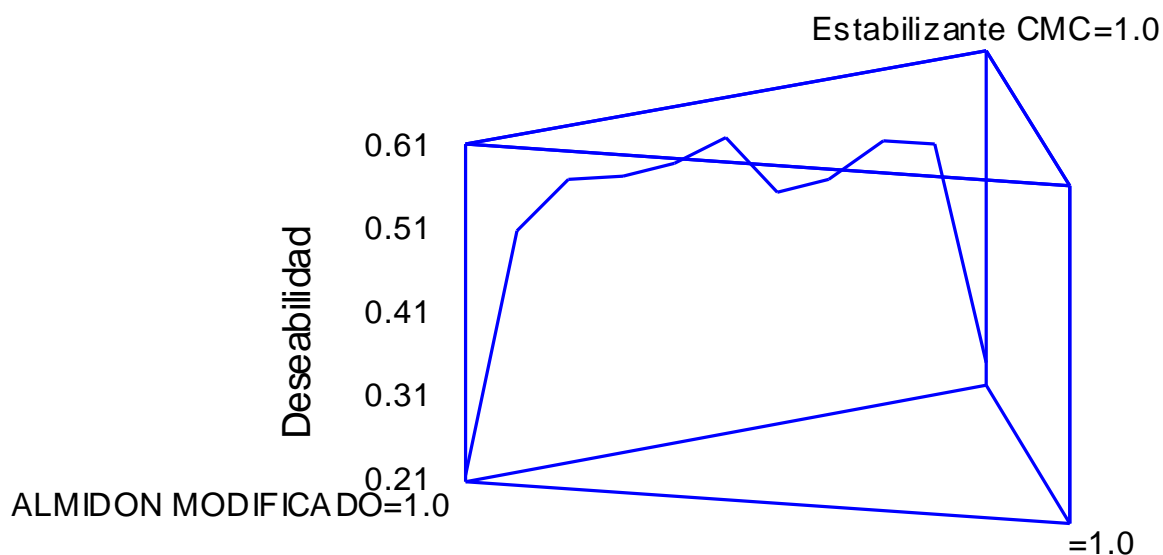
**Cuadro 7.1: Valores para la optimización de múltiples respuestas**

<i>Respuesta</i>	<i>Baja</i>	<i>Alta</i>	<i>Valor Objetivo</i>
<i>Overrun</i>	45,7	59,0	53,4
<i>Viscosidad</i>	93,7	238,7	117,03

**Cuadro 7.2: Deseabilidad Global de las muestras de helado soft evaluadas**

<i>Tratamientos</i>	<i>Overrun observado</i>	<i>Viscosidad aparente observado</i>	<i>Deseabilidad Global</i>
1	51,4	238,7	0,235286
2	47,4	112,3	0,425047
3	57,3	133,1	0,554912
4	56,8	147,7	0,501678
5	53,4	93,7	0,582639
6	52,1	229,9	0,250975
7	45,7	114,5	0,4017
8	56,4	130,2	0,572368
9	59,0	148,7	0,516722
10	52,6	96,4	0,546105

**Cuadro 7.3. Superficie de respuesta estimada en función de la deseabilidad**



**Cuadro 7.4: Resultados de la maximización de la deseabilidad de múltiples respuestas**

MEZCLA CON MAYOR DESEABILIDAD			
<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Proporción de la mezcla óptima</i>
Estabilizante	0,0	1,0	0,237565
Carboximetilcelulosa			
ALMIDON MODIFICADO	0,0	1,0	0,762435
<i>Respuesta</i>			<i>Óptimo</i>
<i>Overrun (%)</i>			53,4
<i>Viscosidad (cP)</i>			101,444

Valor óptimo de deseabilidad = 0,576133

## ANEXO 8

### CONSTANTES REOLÓGICAS (*N*, *K*) DE LAS DIFERENTES MEZCLAS BASE DE HELADO *SOFT*

**Cuadro 8.1.a: Datos para encontrar la curva reológica Repetición 1**

Muestra	Viscosidad Aparente (cP)	Velocidad (rpm)	% Torque	<i>Shear</i> <i>Stress</i> (Pa)	<i>Shear Rate</i> (1/s)	Muestra	Viscosidad Aparente (cP)	Velocidad (rpm)	Torque (%)	<i>Shear</i> <i>Stress</i> (Pa)	<i>Shear Rate</i> (1/s)
<b>Helado 0</b>	226	090	40,70	18,926	83,70	<b>Helado 1</b>	150,56	090	27,14	12,602	83,70
	220,53	095	41,86	19,484	88,35		147,89	095	28,14	13,067	88,35
	215,00	100	42,97	19,995	93,00		145,50	100	29,13	13,532	93,00
	210,00	105	44,07	20,507	97,65		143,33	105	30,12	13,997	97,65
	205,45	110	45,19	21,018	102,30		141,36	110	31,08	14,462	102,30
	201,30	115	46,31	21,530	106,95		139,13	115	32,00	14,880	106,95
	197,50	120	47,37	22,041	111,60		137,08	120	32,91	15,299	111,60
	193,60	125	48,42	22,506	116,25		135,20	125	33,79	15,717	116,25
	190,00	130	49,44	22,971	120,90		133,46	130	34,69	16,136	120,90
	187,04	135	50,47	23,483	125,55		131,85	135	35,56	16,554	125,55

«Continuación»

<b>Helado 2</b>	134,44	90	24,24	11,253	83,70	<b>Helado 3</b>	105,56	090	19,01	8,835	83,70
	132,11	95	25,08	11,672	88,35		103,68	095	19,68	9,161	88,35
	129,50	100	25,94	12,044	93,00		102,50	100	20,46	9,533	93,00
	127,62	105	26,75	12,462	97,65		100,95	105	21,24	9,858	97,65
	125,45	110	27,56	12,834	102,30		100,00	110	22,02	10,230	102,30
	123,48	115	28,40	13,206	106,95		99,13	115	22,75	10,602	106,95
	121,67	120	29,19	13,578	111,60		97,92	120	23,49	10,928	111,60
	120,00	125	29,98	13,950	116,25		96,80	125	24,21	11,253	116,25
	118,46	130	30,77	14,322	120,90		95,77	130	24,92	11,579	120,90
	116,67	135	31,54	14,648	125,55		94,81	135	25,61	11,904	125,55
<b>Helado 4</b>	113,33	090	20,36	9,486	83,70	<b>Helado Comercial</b>	121,67	090	21,93	10,184	83,70
	111,58	095	21,20	9,858	88,35		119,47	095	22,70	10,556	88,35
	110,00	100	21,96	10,230	93,00		117,50	100	23,53	10,928	93,00
	108,10	105	22,74	10,556	97,65		116,19	105	24,37	11,346	97,65
	106,82	110	23,51	10,928	102,30		114,55	110	25,18	11,718	102,30
	105,65	115	24,28	11,300	106,95		113,04	115	25,99	12,090	106,95
	104,17	120	25,01	11,625	111,60		111,67	120	26,78	12,462	111,60
	102,80	125	25,72	11,951	116,25		110,40	125	27,55	12,834	116,25
	101,54	130	26,42	12,276	120,90		108,85	130	28,31	13,160	120,90
	100,37	135	27,15	12,602	125,55		107,78	135	29,05	13,532	125,55

**Cuadro 8.1.b: Datos para encontrar la curva reológica Repetición 2**

Muestra	Viscosidad Aparente (cP)	Velocidad (rpm)	% Torque	<i>Shear Stress</i> (Pa)	<i>Shear Rate</i> (1/s)	Muestra	Viscosidad Aparente (cP)	Velocidad (rpm)	Torque (%)	<i>Shear Stress</i> (Pa)	<i>Shear Rate</i> (1/s)
<b>Helado 0</b>	230,00	90,00	41,40	192,51	83,70	<b>Helado 1</b>	149,44	90,00	26,90	125,09	83,70
	224,21	95,00	42,56	198,09	88,35		146,84	95,00	27,91	129,74	88,35
	219,00	100,00	43,79	203,67	93,00		144,50	100,00	28,91	134,39	93,00
	214,76	105,00	45,07	209,72	97,65		142,38	105,00	29,88	139,04	97,65
	210,91	110,00	46,38	215,76	102,30		140,45	110,00	30,86	143,69	102,30
	206,96	115,00	47,61	221,34	106,95		138,26	115,00	31,76	147,87	106,95
	203,33	120,00	48,83	226,92	111,60		136,25	120,00	32,69	152,06	111,60
	200,00	125,00	50,02	232,50	116,25		134,40	125,00	33,58	156,24	116,25
	196,92	130,00	51,19	238,08	120,90		132,69	130,00	34,46	160,43	120,90
	194,07	135,00	52,36	243,66	125,55		131,11	135,00	35,35	164,61	125,55

«Continuación»

<b>Helado 2</b>	110,56	90,00	19,94	92,54	83,70	105,00	90,00	18,86	87,89	83,70
	108,95	95,00	20,70	96,26	88,35	103,16	95,00	19,55	91,14	88,35
	107,50	100,00	21,50	99,98	93,00	102,00	100,00	20,36	94,86	93,00
	106,19	105,00	22,32	103,70	97,65	100,48	105,00	21,13	98,12	97,65
	105,00	110,00	23,14	107,42	102,30	99,55	110,00	21,93	101,84	102,30
	103,48	115,00	23,84	110,67	106,95	98,70	115,00	22,66	105,56	106,95
	102,50	120,00	24,63	114,39	111,60	97,50	120,00	23,36	108,81	111,60
	101,60	125,00	25,37	118,11	116,25	96,40	125,00	24,10	112,07	116,25
	100,38	130,00	26,11	121,37	120,90	95,38	130,00	24,83	115,32	120,90
	99,63	135,00	26,85	125,09	125,55	94,44	135,00	25,53	118,58	125,55
<b>Helado 4</b>	110,56	90,00	19,94	92,54	83,70	119,44	90,00	21,49	99,98	83,70
	108,95	95,00	20,70	96,26	88,35	117,37	95,00	22,29	103,70	88,35
	107,50	100,00	21,50	99,98	93,00	115,50	100,00	23,12	107,42	93,00
	106,19	105,00	22,32	103,70	97,65	114,29	105,00	23,97	111,60	97,65
	105,00	110,00	23,14	107,42	102,30	112,73	110,00	24,75	115,32	102,30
	103,48	115,00	23,84	110,67	106,95	111,30	115,00	25,55	119,04	106,95
	102,50	120,00	24,63	114,39	111,60	110,00	120,00	26,35	122,76	111,60
	101,60	125,00	25,37	118,11	116,25	108,40	125,00	27,13	126,02	116,25
	100,38	130,00	26,11	121,37	120,90	107,31	130,00	27,89	129,74	120,90
	99,63	135,00	26,85	125,09	125,55	106,30	135,00	28,67	133,46	125,55
<b>Helado 3</b>	105,00	90,00	19,94	92,54	83,70	105,00	90,00	18,86	87,89	83,70
	103,16	95,00	20,70	96,26	88,35	103,16	95,00	19,55	91,14	88,35
	102,00	100,00	21,50	99,98	93,00	102,00	100,00	20,36	94,86	93,00
	100,48	105,00	22,32	103,70	97,65	100,48	105,00	21,13	98,12	97,65
	99,55	110,00	23,14	107,42	102,30	99,55	110,00	21,93	101,84	102,30
	98,70	115,00	23,84	110,67	106,95	98,70	115,00	22,66	105,56	106,95
	97,50	120,00	24,63	114,39	111,60	97,50	120,00	23,36	108,81	111,60
	96,40	125,00	25,37	118,11	116,25	96,40	125,00	24,10	112,07	116,25
	95,38	130,00	26,11	121,37	120,90	95,38	130,00	24,83	115,32	120,90
	94,44	135,00	26,85	125,09	125,55	94,44	135,00	25,53	118,58	125,55
<b>Helado Comercial</b>	110,56	90,00	19,94	92,54	83,70	119,44	90,00	21,49	99,98	83,70
	108,95	95,00	20,70	96,26	88,35	117,37	95,00	22,29	103,70	88,35
	107,50	100,00	21,50	99,98	93,00	115,50	100,00	23,12	107,42	93,00
	106,19	105,00	22,32	103,70	97,65	114,29	105,00	23,97	111,60	97,65
	105,00	110,00	23,14	107,42	102,30	112,73	110,00	24,75	115,32	102,30
	103,48	115,00	23,84	110,67	106,95	111,30	115,00	25,55	119,04	106,95
	102,50	120,00	24,63	114,39	111,60	110,00	120,00	26,35	122,76	111,60
	101,60	125,00	25,37	118,11	116,25	108,40	125,00	27,13	126,02	116,25
	100,38	130,00	26,11	121,37	120,90	107,31	130,00	27,89	129,74	120,90
	99,63	135,00	26,85	125,09	125,55	106,30	135,00	28,67	133,46	125,55

Para encontrar las constantes reológicas se realizó la linealización del *shear stress* y *shear rate*, aplicando el logaritmo para cada valor, luego se modeló linealmente ( $y = a + b \cdot x$ ) mediante una regresión simple. A continuación se detalla el ANVA y los coeficientes de la regresión para cada muestra de helado *soft*, siendo  $b$  la constante reológica “ $n$ ” y el resultado de  $10^a$  es la constante reológica “ $k$ ”.

**Sección 8.2: Regresión Simple (Helado *soft* 0) - Logaritmo de *Shear Stress* vs. Logaritmo de *Shear Rate***

Variable dependiente: Logaritmo de *Shear Stress*

Variable independiente: Logaritmo de *Shear Rate*

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

**REPETICIÓN 1**

**Coefficientes**

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>p-value</i>
Intercepto	0,257847	0,00423433	60,8944	0,0000
Pendiente	0,529956	0,0020995	252,42	0,0000

**Análisis de Varianza**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>p-value</i>
Modelo	0,00883194	1	0,00883194	63715,67	0,0000
Residuo	0,00000110892	8	1,38615E-7		
Total (Corr.)	0,00883305	9			

Coefficiente de Correlación = 0,999937

R-cuadrada = 99,9874 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 99,9859 por ciento

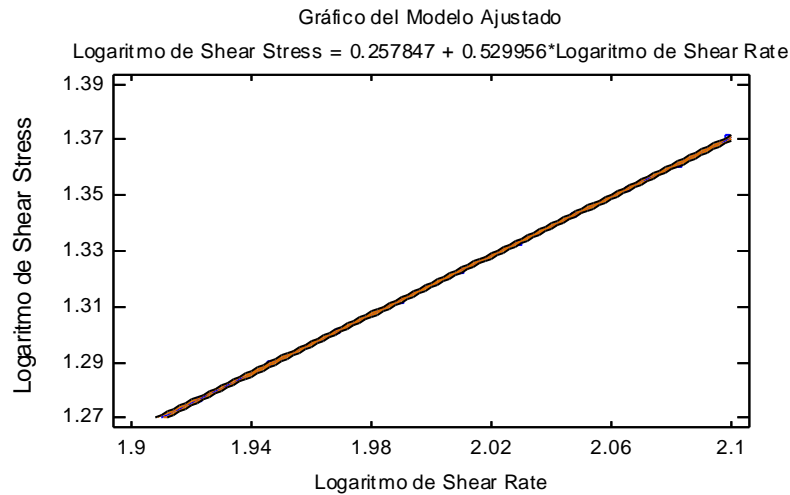
La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Logaritmo de } \textit{Shear Stress} = 0,257847 + 0,529956 \cdot \text{Logaritmo de } \textit{Shear Rate}$$



Puesto que el *p-value*, en el Cuadro del ANVA es menor que 0,05, se afirma que existe una relación estadísticamente significativa entre Logaritmo de *Shear Stress* y Logaritmo de *Shear Rate* con un nivel de confianza del 95 por ciento.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99,9874 por ciento de la variabilidad en Logaritmo de *Shear Stress*. El coeficiente de correlación es igual a 0.999937, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables.



De la ecuación del modelo ajustado, se obtuvo la constante reológica  $n = 0,529956 \approx 0,53$  y la constante reológica  $K = 10^{0,257847} = 1,8107 \approx 1,81$

## REPETICIÓN 2

<b>Coefficientes</b>				
	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>p-value</i>
Intercepto	0,159452	0,00786525	20,273	0,0000
Pendiente	0,584421	0,00389982	149,858	0,0000

### Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>p-value</i>
Modelo	0,0107406	1	0,0107406	22457,56	0,0000
Residuo	0,0000038261	8	4,78262E-7		
Total (Corr.)	0,0107444	9			

Coefficiente de Correlación = 0,999822

R-cuadrada = 99,9644 por ciento

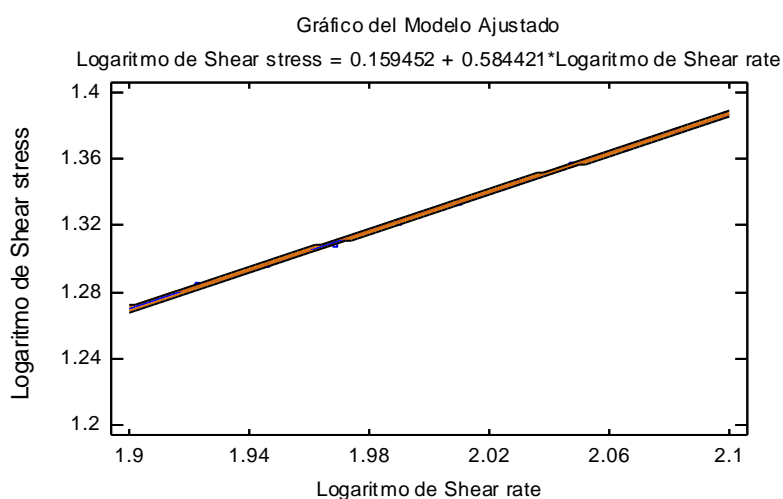
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 99,9599 por ciento

La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Logaritmo de Shear stress} = 0,159452 + 0,584421 * \text{Logaritmo de Shear rate}$$

Puesto que el *p-value* en el cuadro del ANVA es menor que 0,05, se afirma que existe una relación estadísticamente significativa entre Logaritmo de *Shear Stress* y Logaritmo de *Shear Rate* con un nivel de confianza del 95,0 por ciento.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99,9644 por ciento de la variabilidad en Logaritmo de Shear stress. El coeficiente de correlación es igual a 0,999822, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables.



De la ecuación del modelo ajustado, se obtuvo la constante reológica  $n = 0,584421 \approx 0,58$  y la constante reológica  $K = 10^{0,159452} = 1,4436 \approx 1,44$

**Sección 8.3: Regresión Simple (Helado *soft* 1)- Logaritmo de *Shear Stress* vs.  
Logaritmo de *Shear Rate***

Variable dependiente: Logaritmo de *Shear Stress*

Variable independiente: Logaritmo de *Shear Rate*

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

**REPETICIÓN 1**

**Coefficientes**

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>p-value</i>
Intercepto	-0.191756	0.00481211	-39.8486	0.0000
Pendiente	0.672209	0.00238598	281.733	0.0000

**Análisis de Varianza**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>p-value</i>
Modelo	0,0142097	1	0,0142097	79373,21	0,0000
Residuo	0,00000143219	8	1,79024E-7		
Total (Corr.)	0,0142111	9			

Coefficiente de Correlación = 0,99995

R-cuadrada = 99,9899 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 99,9887 por ciento

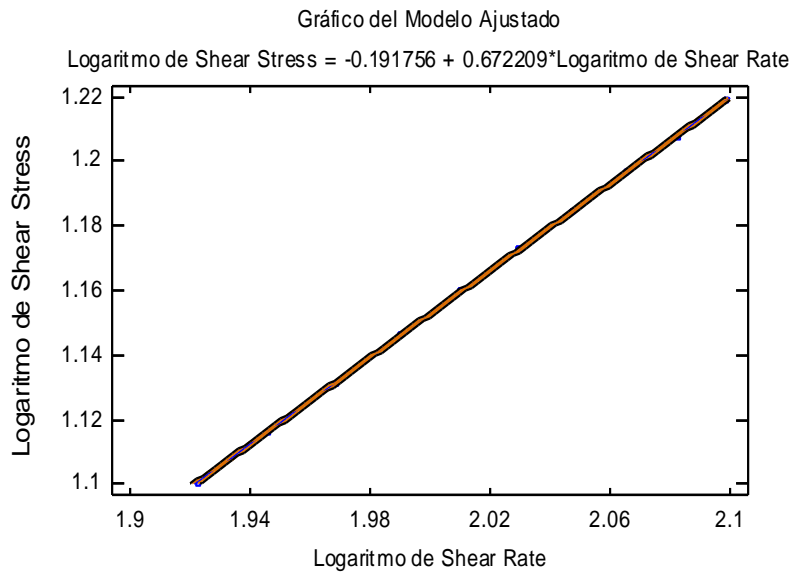
La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Logaritmo de } Shear Stress = -0,191756 + 0,672209 \cdot \text{Logaritmo de } Shear Rate$$

Puesto que el *p-value* del cuadro del ANVA es menor que 0,05, se afirma que existe una relación estadísticamente significativa entre Logaritmo de *Shear Stress* y Logaritmo de *Shear Rate* con un nivel de confianza del 95,0 por ciento.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99,9899 por ciento de la variabilidad en Logaritmo de *Shear Stress*. El coeficiente de correlación es igual a 0,99995,

indicando una relación relativamente fuerte entre las variables.



De la ecuación del modelo ajustado, se obtuvo la constante reológica  $n = 0,672209 \approx 0,67$  y la constante reológica  $K = 10^{-0,191756} = 0,643131 \approx 0,64$

## REPETICIÓN 2

### Coeficientes

<i>Parámetro</i>	<i>Mínimos Cuadrados Estimado</i>	<i>Estándar Error</i>	<i>Estadístico T</i>	<i>p-value</i>
Intercepto	-0,203336	0,00492893	-41,2536	0,0000
Pendiente	0,676568	0,00244391	276,839	0,0000

### Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>p-value</i>
Modelo	0,0143946	1	0,0143946	76639,68	0,0000
Residuo	0,00000150258	8	1,87822E-7		
Total (Corr.)	0,0143961	9			

Coefficiente de Correlación = 0,999948

R-cuadrada = 99,9896 por ciento

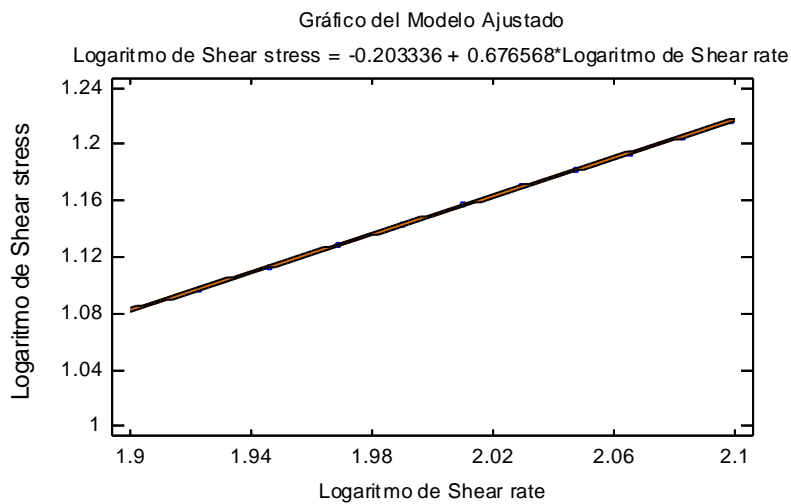
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 99,9883 por ciento

La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Logaritmo de Shear stress} = -0,203336 + 0,676568 * \text{Logaritmo de Shear rate}$$

Puesto que el *p-value* del Cuadro del ANVA es menor que 0,05, se afirma que existe una relación estadísticamente significativa entre Logaritmo de *Shear Stress* y Logaritmo de *Shear Rate* con un nivel de confianza del 95,0 por ciento.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99,9899% de la variabilidad en Logaritmo de *Shear Stress*. El coeficiente de correlación es igual a 0,99995, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables.



De la ecuación del modelo ajustado, se obtuvo la constante reológica  $n = 0,676568 \approx 0,68$  y la constante reológica  $K = 10^{-0,203336} = 0,6261 \approx 0,63$

#### **Sección 8.4: Regresión Simple (Helado soft 2)- Logaritmo de *Shear Stress* vs. Logaritmo de *Shear Rate***

Variable dependiente: Logaritmo de *Shear Stress*

Variable independiente: Logaritmo de *Shear Rate*

Lineal:  $Y = a + b * X$

## REPETICIÓN 1

### Coefficientes

<i>Parámetro</i>	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>p-value</i>
Intercepto	-0,201648	0,00431092	-46,7761	0,0000
Pendiente	0,651748	0,00213748	304,914	0,0000

### Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>p-value</i>
Modelo	0,0133578	1	0,0133578	92972,53	0,0000
Residuo	0,0000011494	8	1,43675E-7		
Total (Corr.)	0,013359	9			

Coefficiente de Correlación = 0,999957

R-cuadrada = 99,9914 por ciento

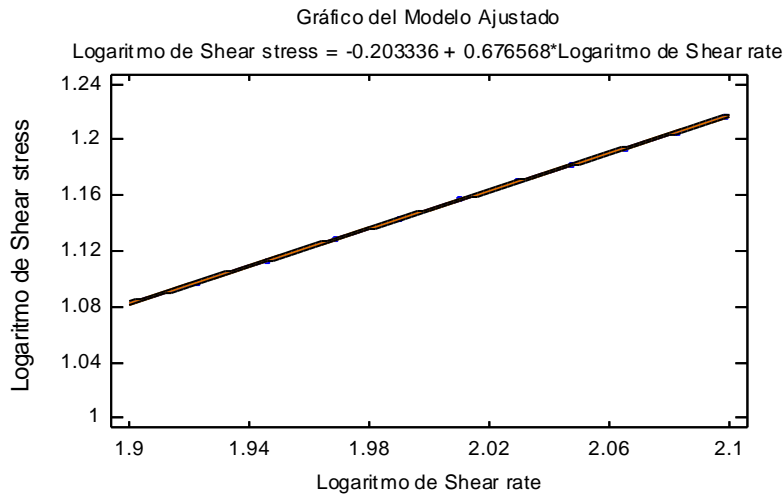
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 99,9903 por ciento

La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Logaritmo de } Shear Stress = -0,201648 + 0,651748 * \text{Logaritmo de } Shear Rate$$

Puesto que el *p-value* del Cuadro del ANVA es menor que 0,05, se afirma que existe una relación estadísticamente significativa entre Logaritmo de *Shear Stress* y Logaritmo de *Shear Rate* con un nivel de confianza del 95,0 por ciento.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99,9896 por ciento de la variabilidad en Logaritmo de *Shear Stress*. El coeficiente de correlación es igual a 0,999948, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables.



De la ecuación del modelo ajustado, se obtuvo la constante reológica  $n = 0,676568 \approx 0,68$  y la constante reológica  $K = 10^{-0,203336} = 0,6261 \approx 0.63$

## REPETICIÓN 2

### Coeficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>p-value</i>
Intercepto	-0,21748	0,00497298	-43,7324	0,0000
Pendiente	0,661572	0,00246575	268,305	0,0000

### Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>p-value</i>
Modelo	0,0137636	1	0,0137636	71987,62	0,0000
Residuo	0,00000152955	8	1,91194E-7		
Total (Corr.)	0,0137651	9			

Coefficiente de Correlación = 0,999944

R-cuadrada = 99,9889 por ciento

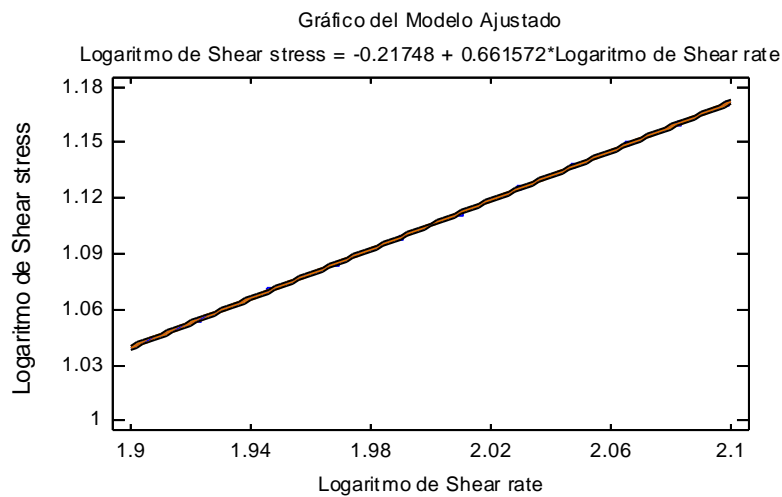
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 99,9875 por ciento

La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Logaritmo de } Shear Stress = -0,21748 + 0,661572 * \text{Logaritmo de } Shear Rate$$

Puesto que el *p-value* del Cuadro del ANVA es menor que 0,05, se afirma que existe una relación estadísticamente significativa entre Logaritmo de *Shear Stress* y Logaritmo de *Shear Rate* con un nivel de confianza del 95,0 por ciento.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99,9889% de la variabilidad en Logaritmo de *Shear Stress*. El coeficiente de correlación es igual a 0,999944, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables.



De la ecuación del modelo ajustado, se obtuvo la constante reológica  $n = 0,661572 \approx 0,66$  y la constante reológica  $K = 10^{-0.21748} = 0,6061 \approx 0.61$

### **Sección 8.5: Regresión Simple (Helado *soft* 3)- Logaritmo de *Shear Stress* vs. Logaritmo de *Shear Rate***

Variable dependiente: Logaritmo de *Shear Stress*

Variable independiente: Logaritmo de *Shear Rate*

Lineal:  $Y = a + b * X$



## REPETICIÓN 1

### Coefficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>p-value</i>
Intercepto	-0,481987	0,00848831	-56,7824	0,0000
Pendiente	0,742314	0,00420875	176,374	0,0000

### Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>p-value</i>
Modelo	0,0173282	1	0,0173282	31107,83	0,0000
Residuo	0,00000445629	8	5,57036E-7		
Total (Corr.)	0,0173326	9			

Coefficiente de Correlación = 0,999871

R-cuadrada = 99,9743 por ciento

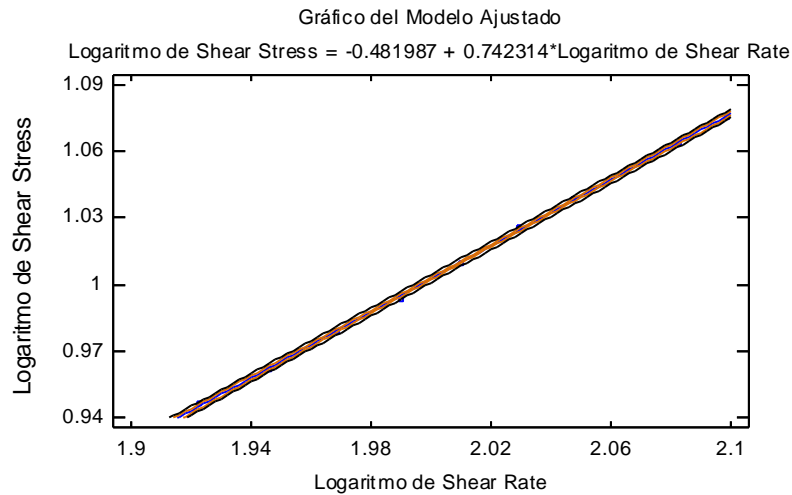
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 99,9711 por ciento

La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Logaritmo de } Shear \text{ Stress} = -0,481987 + 0,742314 * \text{Logaritmo de } Shear \text{ Rate}$$

Puesto que el *p-value* del Cuadro del ANVA es menor que 0,05, se afirma que existe una relación estadísticamente significativa entre Logaritmo de *Shear Stress* y Logaritmo de *Shear Rate* con un nivel de confianza del 95,0 por ciento.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99,9743 por ciento de la variabilidad en Logaritmo de *Shear Stress*. El coeficiente de correlación es igual a 0,999871, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables.



De la ecuación del modelo ajustado, se obtuvo la constante reológica  $n = 0,742314 \approx 0,74$  y la constante reológica  $K = 10^{-0,481987} = 0,3296 \approx 0,33$

## REPETICIÓN 2

### Coeficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>p-value</i>
Intercepto	-0,49078	0,00851986	-57,6043	0,0000
Pendiente	0,745701	0,00422439	176,522	0,0000

### Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>p-value</i>
Modelo	0,0174866	1	0,0174866	31160,19	0,0000
Residuo	0,00000448948	8	5,61185E-7		
Total (Corr.)	0,0174911	9			

Coefficiente de Correlación = 0,999872

R-cuadrada = 99,9743 por ciento

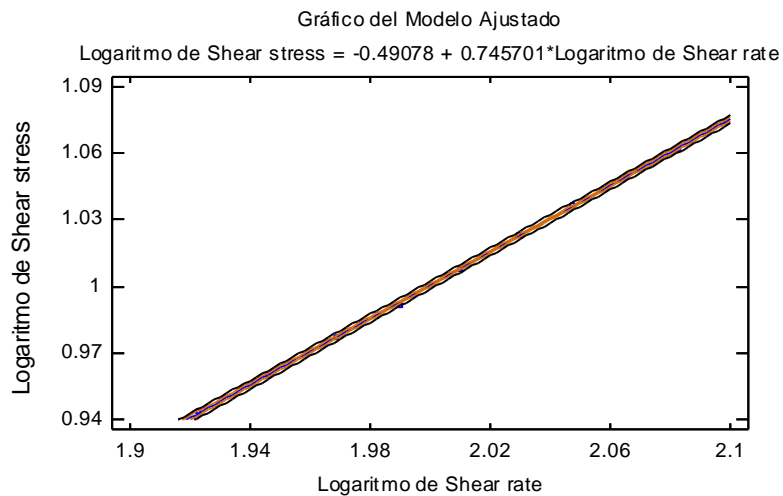
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 99,9711 por ciento

La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Logaritmo de } \textit{Shear Stress} = -0,49078 + 0,745701 * \text{Logaritmo de } \textit{Shear Rate}$$

Puesto que el *p-value* del Cuadro del ANVA es menor que 0,05, se afirma que existe una relación estadísticamente significativa entre Logaritmo de *Shear Stress* y Logaritmo de *Shear Rate* con un nivel de confianza del 95 por ciento.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99,9743% de la variabilidad en Logaritmo de *Shear Stress*. El coeficiente de correlación es igual a 0,999872, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables.



De la ecuación del modelo ajustado, se obtuvo la constante reológica  $n = 0,745701 \approx 0,75$  y la constante reológica  $K = 10^{-0,49078} = 0,3230 \approx 0,32$

### **Sección 8.6: Regresión Simple (Helado soft 4)- Logaritmo de *Shear Stress* vs. Logaritmo de *Shear Rate***

Variable dependiente: Logaritmo de *Shear Stress*

Variable independiente: Logaritmo de *Shear Rate*

Lineal:  $Y = a + b * X$

## REPETICIÓN 1

### Coeficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>p-value</i>
Intercepto	-0,371028	0,00633942	-58,5271	0,0000
Pendiente	0,701291	0,00314327	223,109	0,0000

### Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>p-value</i>
Modelo	0,0154659	1	0,0154659	49777,56	0,0000
Residuo	0,0000024856	8	3,107E-7		
Total (Corr.)	0,0154684	9			

Coeficiente de Correlación = 0,99992

R-cuadrada = 99,9839 por ciento

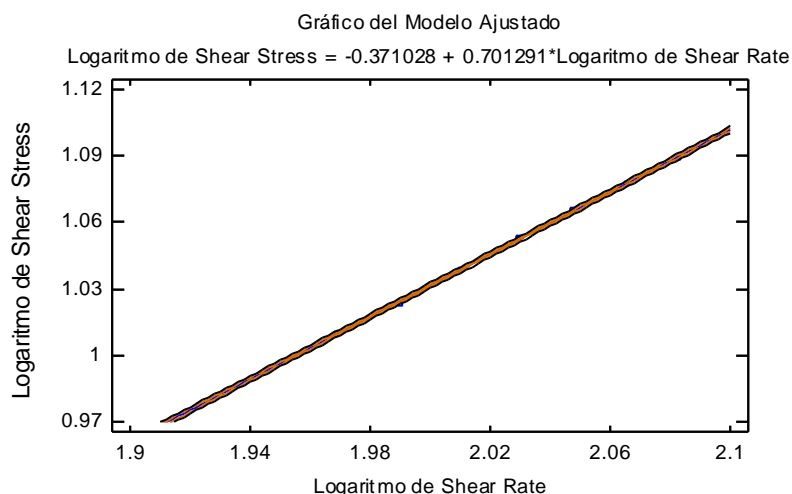
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 99,9819 por ciento

La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Logaritmo de Shear Stress} = -0,371028 + 0,701291 * \text{Logaritmo de Shear Rate}$$

Puesto que el *p-value* del Cuadro del ANVA es menor que 0,05, se afirma que existe una relación estadísticamente significativa entre Logaritmo de *Shear Stress* y Logaritmo de *Shear Rate* con un nivel de confianza del 95 por ciento.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99,9839 por ciento de la variabilidad en Logaritmo de *Shear Stress*. El coeficiente de correlación es igual a 0,99992, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables.



De la ecuación del modelo ajustado, se obtuvo la constante reológica  $n = 0,701291 \approx 0,70$  y la constante reológica  $K = 10^{-0,371028} = 0,4255 \approx 0,43$

## REPETICIÓN 2

### Coefficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>p-value</i>
Intercepto	-0,459789	0,0055768	-82,4469	0,0000
Pendiente	0,741568	0,00276514	268,185	0,0000

### Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>p-value</i>
Modelo	0,0172934	1	0,0172934	71923,12	0,0000
Residuo	0,00000192354	8	2,40442E-7		
Total (Corr.)	0,0172953	9			

Coefficiente de Correlación = 0,999944

R-cuadrada = 99,9889 por ciento

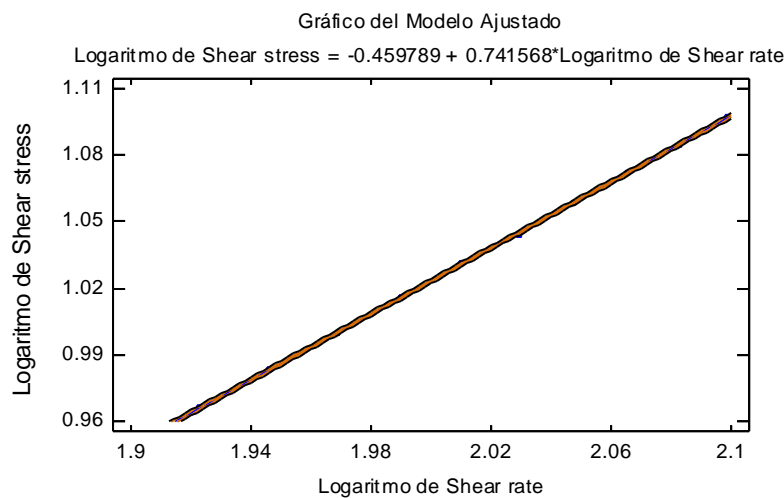
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 99,9875 por ciento

La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Logaritmo de } Shear Stress = -0,459789 + 0,741568 \text{Logaritmo de } Shear Rate$$

Puesto que el  $p$ -value del Cuadro del ANVA es menor que 0,05, se afirma que existe una relación estadísticamente significativa entre Logaritmo de *Shear Stress* y Logaritmo de *Shear Rate* con un nivel de confianza del 95,0 por ciento.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99,9889 por ciento de la variabilidad en Logaritmo de *Shear Stress*. El coeficiente de correlación es igual a 0,999944, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables.



De la ecuación del modelo ajustado, se obtuvo la constante reológica  $n = 0,741568 \approx 0,74$  y la constante reológica  $K = 10^{-0,459789} = 0,3469 \approx 0,35$

### **Sección 8.7: Regresión Simple (Helado soft comercial)- Logaritmo de *Shear Stress* vs. Logaritmo de *Shear Rate***

Variable dependiente: Logaritmo de *Shear Stress*

Variable independiente: Logaritmo de *Shear Rate*

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

## REPETICIÓN 1

### Coefficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>p-value</i>
Intercepto	-0,347619	0,00623435	-55,7586	0,0000
Pendiente	0,704684	0,00309117	227,967	0,0000

### Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>p-value</i>
Modelo	0,0156159	1	0,0156159	51968,83	0,0000
Residuo	0,00000240388	8	3,00485E-7		
Total (Corr.)	0,0156183	9			

Coefficiente de Correlación = 0,999923

R-cuadrada = 99,9846 por ciento

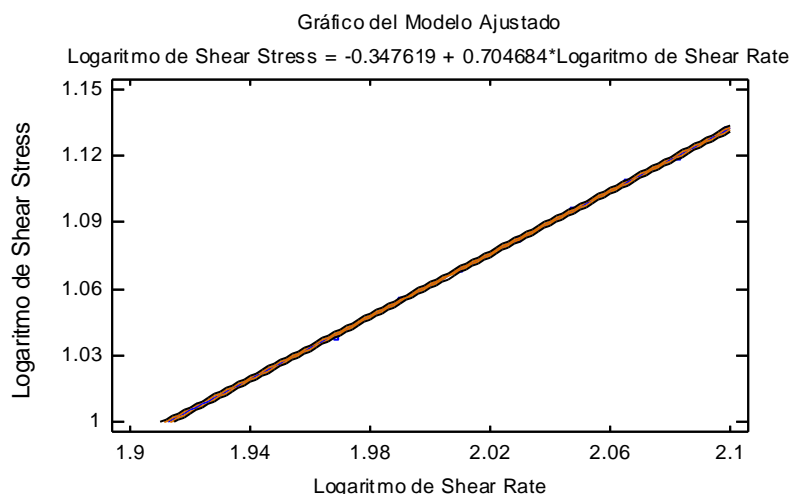
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 99,9827 por ciento

La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Logaritmo de } Shear Stress = -0,347619 + 0,704684 * \text{Logaritmo de } Shear Rate$$

Puesto que el *p-value* del Cuadro del ANVA es menor que 0,05, se afirma que existe una relación estadísticamente significativa entre Logaritmo de *Shear Stress* y Logaritmo de *Shear Rate* con un nivel de confianza del 95 por ciento.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99,9846 por ciento de la variabilidad en Logaritmo de *Shear Stress*. El coeficiente de correlación es igual a 0,999923, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables.



De la ecuación del modelo ajustado, se obtuvo la constante reológica  $n = 0,704684 \approx 0,70$  y la constante reológica  $K = 10^{-0,347619} = 0,4491 \approx 0,45$

## REPETICIÓN 2

### Coeficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>p-value</i>
Intercepto	-0,372536	0,00679763	-54,8038	0,0000
Pendiente	0,713536	0,00337046	211,703	0,0000

### Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>p-value</i>
Modelo	0,0160107	1	0,0160107	44818,00	0,0000
Residuo	0,0000028579	8	3,57237E-7		
Total (Corr.)	0,0160135	9			

Coefficiente de Correlación = 0,999911

R-cuadrada = 99,9822 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 99,9799 por ciento

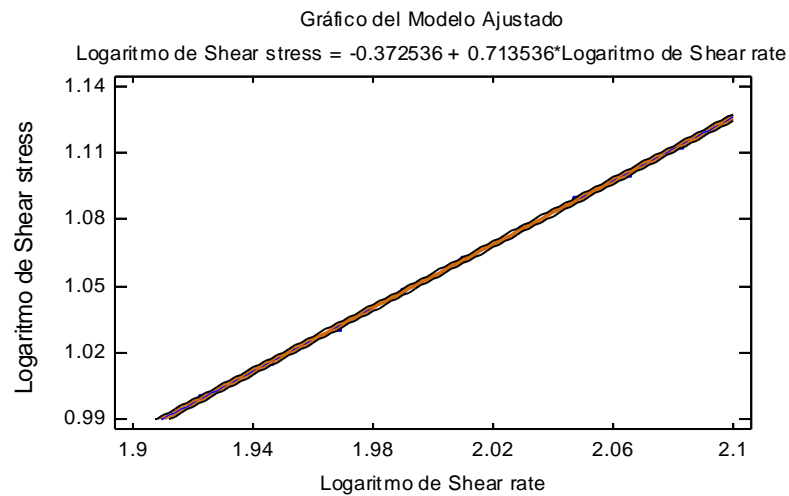


La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Logaritmo de Shear Stress} = -0,372536 + 0,713536 * \text{Logaritmo de Shear Rate}$$

Puesto que el *p-value* del Cuadro del ANVA es menor que 0,05, se afirma que existe una relación estadísticamente significativa entre Logaritmo de *Shear Stress* y Logaritmo de *Shear Rate* con un nivel de confianza del 95 por ciento.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99,9822 por ciento de la variabilidad en Logaritmo de *Shear Stress*. El coeficiente de correlación es igual a 0,999911, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables.



De la ecuación del modelo ajustado, se obtuvo la constante reológica  $n = 0,713536 \approx 0,71$  y la constante reológica  $K = 10^{-0,372536} = 0,4240 \approx 0,42$

**Cuadro 8.8: Datos para el ANVA del Índice de Comportamiento reológico**

Tratamientos	Repetición	Índice de Comportamiento Reológico ( <i>n</i> )
Helado soft 0	1	0,53
	2	0,5844
Helado soft 1	1	0,6722
	2	0,6766
Helado soft 2	1	0,6765
	2	0,6615
Helado soft 3	1	0,7423
	2	0,7457
Helado soft 4	1	0,7013
	2	0,7416
Helado soft comercial	1	0,7047
	2	0,7135

**Cuadro 8.9: ANVA del DCA del Índice del comportamiento reológico (*n*)**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>p-value</i>
Entre grupos	0,0437784	5	0,00875568	21,37	0,0009
Intra grupos	0,00245841	6	0,000409734		
Total (Corr.)	0,0462368	11			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

**Cuadro 8.10: Pruebas de comparación de medias (LSD de Fisher) para el comportamiento reológico (*n*) de las diferentes mezclas de helado soft**

<i>% de Acetilación</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Helado soft 0	2	0,5572	X
Helado soft 2	2	0,669	X
Helado soft 1	2	0,6744	XX
Helado soft Comercial	2	0,7091	XXX
Helado soft 4	2	0,72145	XX
Helado soft 3	2	0,744	X
<i>Contraste</i>	<i>Significancia</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Helado soft 0 - Helado soft 1	*	-0,1172	0,0495303
Helado soft 0 - Helado soft 2	*	-0,1118	0,0495303
Helado soft 0 - Helado soft 3	*	-0,1868	0,0495303
Helado soft 0 - Helado soft 4	*	-0,16425	0,0495303
Helado soft 0 - Helado soft Co	*	-0,1519	0,0495303
Helado soft 1 - Helado soft 2		0,0054	0,0495303
Helado soft 1 - Helado soft 3	*	-0,0696	0,0495303
Helado soft 1 - Helado soft 4		-0,04705	0,0495303
Helado soft 1 - Helado soft Co		-0,0347	0,0495303
Helado soft 2 - Helado soft 3	*	-0,075	0,0495303
Helado soft 2 - Helado soft 4	*	-0,05245	0,0495303
Helado soft 2 - Helado soft Co		-0,0401	0,0495303
Helado soft 3 - Helado soft 4		0,02255	0,0495303
Helado soft 3 - Helado soft Co		0,0349	0,0495303
Helado soft 4 - Helado soft Co		0,01235	0,0495303

\* Significativo

## ANEXO 9

### DENSIDAD DE LOS HELADOS *SOFT*

**Cuadro 9.1 Densidad de los helados y sus mezclas base**

Mezcla Base de Helado	R*	Pícnómetro				Densidad de la mezcla base de		<i>Overrun</i> (%)	Densidad del helado (g / L)	
		Peso Vacío (g)	Peso con muestra (g)	Muestra (g)	Volumen (ml)	helado (g / ml)				
0	1	29,9596	41,5714	11,6118	10,052	1,1552			761,2	
	2	29,9596	41,6916	11,732	10,052	1,1671	1,1589	51,75	769,2	763,7
	3	29,9596	41,5626	11,603	10,052	1,1543			760,6	
1	1	29,9596	40,9843	11,0247	10,052	1,0968			694,6	
	2	29,9596	40,9974	11,0378	10,052	1,0981	1,0997	57,9	695,4	696,5
	3	29,9596	41,0608	11,1012	10,052	1,1044			699,4	
2	1	26,8254	37,4592	10,6338	9,776	1,0877			693,5	
	2	26,8254	37,4645	10,6391	9,776	1,0883	1,0931	56,85	693,8	696,9
	3	26,8254	37,6113	10,7859	9,776	1,1033			703,4	
3	1	29,9596	41,0616	11,102	10,052	1,1045			721,8	
	2	29,9596	40,9514	10,9918	10,052	1,0935	1,0985	53	714,7	718,0
	3	29,9596	40,9915	11,0319	10,052	1,0975			717,3	

«Continuación»

	1	26,8254	38,7891	11,9637	9,776	1,2238			835,0	
4	2	26,8254	38,6514	11,826	9,776	1,2097	1,2157	46,55	825,5	829,6
	3	26,8254	38,6901	11,8647	9,776	1,2137			828,2	
Pre mezcla	1	26,8254	37,5005	10,6751	9,776	1,0920			711,8	
Comercial	2	26,8254	37,4071	10,5817	9,776	1,0824	1,0915	53,4	705,6	711,5
	3	26,8254	37,5803	10,7549	9,776	1,1001			717,2	

\* Repetición

**Cuadro 9.2: ANVA del DCA de la densidad de los helados soft**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>p-value</i>
Entre grupos	40593.6	5	8118,72	369,58	0,0000
Intra grupos	263,606	12	21,9672		
Total (Corr.)	40857,2	17			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

**Cuadro 9.3: Pruebas de comparación de medias (LSD de Fisher) para el comportamiento reológico (*n*) de las diferentes mezclas de helado soft**

<i>% de Acetilación</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Helado soft 1	3	696,478	X
Helado soft 2	3	696,916	X
Helado soft Comercial	3	711,543	X
Helado soft 3	3	717,959	X
Helado soft 0	3	763,669	X
Helado soft 4	3	829,554	X

<i>Contraste</i>	<i>Significancia <sup>a</sup></i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Helado soft 0 - Helado soft 1	*	67,1911	8,33801
Helado soft 0 - Helado soft 2	*	66,7529	8,33801
Helado soft 0 - Helado soft 3	*	45,7093	8,33801
Helado soft 0 - Helado soft 4	*	-65,8857	8,33801
Helado soft 0 - Helado soft Comercial	*	52,126	8,33801
Helado soft 1 - Helado soft 2		-0,438234	8,33801
Helado soft 1 - Helado soft 3	*	-21,4819	8,33801
Helado soft 1 - Helado soft 4	*	-133,077	8,33801
Helado soft 1 - Helado soft Comercial	*	-15,0651	8,33801
Helado soft 2 - Helado soft 3	*	-21,0437	8,33801
Helado soft 2 - Helado soft 4	*	-132,639	8,33801
Helado soft 2 - Helado soft Comercial	*	-14,6269	8,33801
Helado soft 3 - Helado soft 4	*	-111,595	8,33801
Helado soft 3 - Helado soft Comercial		6,41678	8,33801
Helado soft 4 - Helado soft Comercial	*	118,012	8,33801

\* Significativo

## ANEXO 10

### RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL HELADO CON MEZCLA ADECUADA DE ALMIDÓN MODIFICADO Y CARBOXIMETILCELULOSA

**Cuadro 10.1. Viscosidad Aparente, overrun y densidad de la mezcla base de helado**

Características		Helado óptimo	
		103,1	
Viscosidad Aparente	cP	101,73	104,3
		108,07	
		57,1	
<i>Overrun</i>	%	55,0	53,1
		47,2	
		1117,9	
Densidad de la Mezcla base de helado	( g / L)	1093,6	1103,3
		1098,4	

**Cuadro 10.2. Datos para encontrar la curva reológica**

Muestra	Viscosidad Aparente (cP)	Velocidad (rpm)	% Torque	<i>Shear Stress</i> (Pa)	<i>Shear Rate</i> (1/s)
	<b>Helado soft Óptimo</b>	111,19	090	18,17	83,77
110,20		095	18,75	87,2	88,35
109,13		100	19,37	90,33	93,00
108,01		105	20,02	93,55	97,65
106,91		110	20,66	96,95	102,30
105,63		115	21,40	100,51	106,95
104,43		120	22,10	103,34	111,60
103,10		125	22,87	106,57	116,25
101,60		130	23,74	109,49	120,90
100,24		135	24,53	112,62	125,55



**Sección 10.3. Regresión Simple (Helado *soft* Óptimo)- Logaritmo de *Shear Stress* vs. Logaritmo de *Shear Rate***

Variable dependiente: Logaritmo de *Shear Stress*

Variable independiente: Logaritmo de *Shear Rate*

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

<b>Coefficientes</b>				
	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>p-value</i>
Intercepto	-0,483873	0,00754928	-64,0953	0,0000
Pendiente	0,731674	0,00374315	195,47	0,0000

<b>Análisis de Varianza</b>					
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>p-value</i>
Modelo	0,016835	1	0,016835	38208,52	0,0000
Residuo	0,00000352486	8	4,40607E-7		
Total (Corr.)	0,0168385	9			

Coefficiente de Correlación = 0,999895

R-cuadrada = 99,9791 por ciento

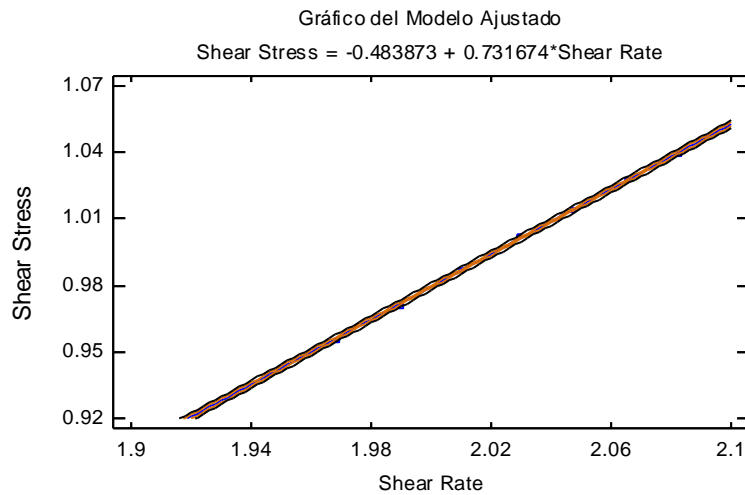
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 99,9764 por ciento

La ecuación del modelo ajustado es:

$$\textit{Shear Stress} = -0,483873 + 0,731674 \cdot \textit{Shear Rate}$$

Puesto que el *p-value* del Cuadro del ANVA es menor que 0,05, se afirma que existe una relación estadísticamente significativa entre *Shear Stress* y *Shear Rate* con un nivel de confianza del 95 por ciento.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99,9791 por ciento de la variabilidad en *Shear Stress*. El coeficiente de correlación es igual a 0,999895, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables.



De la ecuación del modelo ajustado, se obtuvo la constante reológica  $n = 0,731674 \approx 0,73$  y la constante reológica  $K = 10^{0,257847} = 0,3281 \approx 0,33$

**Sección 10.4. *t-student* para la comparación de las características entre el helado de formulación óptima y el helado *soft* comercial**

Resumen Estadístico para la comparación de las características de los helados

Recuento	6
Promedio	1,31333
Desviación Estándar	8,66821
Mínimo	-12,73
Máximo	11,8
Rango	24,53

Prueba de Hipótesis para la comparación de las características de los helados

Media Muestral = 1,31333

Mediana Muestral = -0,045

Desviación Estándar de la Muestra = 8,66821

Prueba t

Hipótesis Nula: media = 0,0

Alternativa: no igual

Estadístico t = 0,371126

*p-value* = 0,72575

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05