

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**“CAMBIO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA PAPA  
AMARILLA (*Solanum goniocalyx*) COCIDA Y PRENSADA DURANTE  
SU ALMACENAMIENTO EN CONGELACIÓN”**

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

**LEONARDO QUISPE MENDOZA**

**LIMA – PERÚ**

**2021**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**“CAMBIO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN LA PAPA  
AMARILLA (*Solanum goniocalyx*) COCIDA Y PRENSADA DURANTE  
SU ALMACENAMIENTO EN CONGELACIÓN”**

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

**Presentada por:**

**LEONARDO QUISPE MENDOZA**

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

---

**Dra. Luis Fernando Vargas Delgado**

**PRESIDENTE**

---

**Dr. Edwin Baldeón Chamorro**

**MIEMBRO**

---

**Mg. Sc. Laura Linares García**

**MIEMBRO**

---

**Dra. Carmen Velezmoro Sánchez**

**ASESORA**

---

**Dra. Indira Betalleluz Pallardel**

**CO-ASESORA**

**Lima – Perú**

**2021**

*A mi familia por su paciencia, consejos y apoyo siempre.*

## AGRADECIMIENTOS

- A Jah por permitirme hacer realidad este sueño y brindarme buenos amigos en mi vida.
- Un profundo agradecimiento a la Dra. Carmen Velezmoro quien siempre supo apoyarme y comprenderme; también por su confianza que hicieron de esta experiencia una de las más especiales.
- Un profundo y especial agradecimiento a la Dra. Indira Betalleluz por todo su apoyo firme y cariño que supieron guiarme; por su disponibilidad de tiempo, apoyo y ánimo en los días de laboratorio; por su gran paciencia y comprensión durante las épocas difíciles; por toda su confianza. ¡Mil gracias!
- Al Dr. Fernando Vargas por su apoyo, guía y aportes que hicieron más interesante esta experiencia.
- A Innóvate Perú y la empresa Agropecuaria Esmeralda Corp por el financiamiento del Proyecto Innóvate – código PITEI3-P-192-237-15 y por las facilidades para esta investigación.
- Al fondo MINEDU-UNALM por el financiamiento a la investigación científica, en especial por los materiales y apoyo brindado.
- A todas aquellas personas que, de una u otra manera, hicieron posible la realización del presente trabajo de investigación.

A todos ellos, realmente, mil gracias.

# ÍNDICE GENERAL

|   |    |
|---|----|
| <b>RESUMEN</b> .....  | 1  |
| <b>ABSTRACT</b> .....   | 1  |
| <b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....  | 1  |
| <b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....                                     | 4  |
| 2.1. PAPA AMARILLA.....   | 4  |
| 2.1.1. ASPECTOS GENERALES .....   | 5  |
| 2.1.2. TAXONOMÍA .....  | 5  |
| 2.1.3. COMPOSICIÓN QUÍMICA .....  | 6  |
| 2.1.4. PRODUCCIÓN .....   | 8  |
| 2.2. ALMIDÓN DE PAPA.....   | 10 |
| 2.2.1. GELATINIZACIÓN Y RETROGRADACIÓN DEL ALMIDÓN.....                     | 12 |
| 2.3. CONGELACIÓN .....  | 14 |
| 2.3.1. PARÁMETROS DEL PROCESO DE CONGELACIÓN .....                          | 15 |
| 2.3.2. EFECTO DE LA CONGELACIÓN EN EL ALIMENTO .....                        | 17 |
| 2.3.3. MÉTODOS DE CONGELACIÓN.....  | 19 |
| 2.4. CAMBIOS DEL ALIMENTO DURANTE EL ALMACENAMIENTO EN<br>CONGELACIÓN ..... | 20 |
| 2.5. DESCONGELACIÓN.....  | 23 |
| 2.6. REOLOGÍA.....  | 24 |
| 2.6.1. PRUEBAS REOLÓGICAS OSCILATORIAS .....                                | 27 |
| 2.7. ANÁLISIS DE TEXTURA INSTRUMENTAL.....                                  | 31 |
| <b>III. METODOLOGÍA</b> .....   | 36 |
| 3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN .....   | 36 |
| 3.2. MATERIA PRIMA .....  | 36 |
| 3.3. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS.....                                   | 36 |
| 3.3.1. MATERIALES .....   | 36 |
| 3.3.2. EQUIPOS .....  | 37 |
| 3.3.3. REACTIVOS.....   | 37 |
| 3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....  | 37 |
| 3.4.1. OBTENCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS .....                                  | 37 |

|  |            |
|--|------------|
| 3.4.2. CONGELACIÓN, ALMACENAMIENTO Y DESCONGELACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS .....                                | 40         |
| 3.5. MÉTODOS DE ANÁLISIS .....   | 40         |
| 3.5.1. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO Y VELOCIDAD DE CONGELACIÓN, TEMPERATURA DE INICIO Y FIN DE CONGELACIÓN ..... | 40         |
| 3.5.2. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE DESCONGELACIÓN Y VELOCIDAD DE DESCONGELACIÓN.....                         | 42         |
| 3.5.3. DETERMINACIÓN DE COLOR.....   | 42         |
| 3.5.4. DETERMINACIÓN DE pH.....  | 43         |
| 3.5.5. DETERMINACIÓN DE MATERIA SECA .....   | 43         |
| 3.5.6. PRUEBAS REOLÓGICAS OSCILATORIAS.....  | 44         |
| 3.5.7. DETERMINACIÓN DE PERFIL DE TEXTURA (TPA).....   | 46         |
| 3.5.8. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....   | 47         |
| <b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>  | <b>50</b>  |
| 4.1. CARACTERÍSTICAS DE LA MATERIA PRIMA .....   | 50         |
| 4.2. PARÁMETROS DE CONGELACIÓN .....   | 51         |
| 4.3. PARÁMETROS DE DESCONGELACIÓN .....  | 53         |
| 4.4. EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA CONGELACIÓN .....   | 56         |
| 4.4.1. COLOR.....  | 56         |
| 4.4.2. pH.....   | 59         |
| 4.4.3. MATERIA SECA .....  | 61         |
| 4.4.4. PRUEBAS REOLÓGICAS OSCILATORIAS.....  | 63         |
| 4.4.5. ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA .....   | 72         |
| 4.5. EFECTO DEL ALMACENAMIENTO EN CONGELACIÓN .....  | 77         |
| 4.5.1. COLOR .....   | 77         |
| 4.5.2. pH .....  | 81         |
| 4.5.3. MATERIA SECA .....  | 83         |
| 4.5.4. PRUEBAS REOLÓGICAS OSCILATORIAS .....   | 84         |
| <b>V. CONCLUSIONES .....</b>   | <b>90</b>  |
| <b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>  | <b>92</b>  |
| <b>VII. BIBLIOGRAFÍA .....</b>   | <b>93</b>  |
| <b>VIII. ANEXOS.....</b>   | <b>105</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1:</b> Composición química de la papa amarilla de las variedades Amarilla y Peruanita por cada 100 gr de materia fresca.....   | 7  |
| <b>Tabla 2:</b> Estacionalidad de producción de papa, 2012 - 2016.....  | 10 |
| <b>Tabla 3:</b> Características del almidón de papa nativa de S. crecidos en los municipios de Sibaté y Granada (Colombia) .....  | 12 |
| <b>Tabla 4:</b> Definiciones físicas y sensoriales de los parámetros de la textura .....  | 33 |
| <b>Tabla 5:</b> Diseño experimental para la primera etapa de la investigación: Efecto de la congelación en papas cocidas y prensadas .....  | 47 |
| <b>Tabla 6:</b> Diseño experimental para la segunda etapa de la investigación: Efecto del almacenamiento en congelación en papas cocidas y prensadas .....  | 48 |
| <b>Tabla 7:</b> Análisis proximal de papas amarillas de las variedades Tumbay y Peruanita.....  | 50 |
| <b>Tabla 8:</b> Valores de obtenidos de Tiempo de congelación, temperatura de inicio de congelación ( $T_c$ ), Temperatura de fin de congelación ( $T_m$ ) y la velocidad de congelación ( $\Delta^\circ\text{C/h}$ ) ..... | 52 |
| <b>Tabla 9:</b> Valores de obtenidos de Tiempo de descongelación y la velocidad de descongelación ( $\Delta^\circ\text{C/h}$ ) .....  | 55 |
| <b>Tabla 10:</b> Medida de color de los tratamientos SC y C/D.....  | 56 |
| <b>Tabla 11:</b> Valores de pH de los tratamientos SC y C/D .....   | 59 |
| <b>Tabla 12:</b> Valores de materia seca (%) de los tratamientos SC y C/D.....  | 61 |
| <b>Tabla 13:</b> Valores de <i>yield stress</i> de los tratamientos SC y C/D.....   | 65 |
| <b>Tabla 14:</b> Valores de los parámetros de viscoelasticidad de los tratamientos SC y C/D...  | 69 |
| <b>Tabla 15:</b> Valores de los parámetros de textura de los tratamientos SC y C/D .....  | 74 |
| <b>Tabla 16:</b> Medidas de color durante el almacenamiento de los tratamientos .....   | 80 |
| <b>Tabla 17:</b> Valores de pH durante el almacenamiento para los tratamientos aplicados .....  | 82 |
| <b>Tabla 18:</b> Valores de los parámetros de viscoelasticidad durante el almacenamiento de los tratamientos .....  | 86 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1:</b> Tubérculo papa amarilla variedad peruanita (izquierda) y amarilla (derecha) ....  | 6  |
| <b>Figura 2:</b> Producción de Papa en el Perú, 1997 – 2016.....   | 9  |
| <b>Figura 3:</b> Principales Departamentos Productores de Papa, 2016.....  | 9  |
| <b>Figura 4:</b> Enrollamiento helicoidal de la amilosa.....   | 11 |
| <b>Figura 5:</b> Estructura química de la amilopectina.....  | 12 |
| <b>Figura 6:</b> Visión esquemática de los procesos de congelación de una sustancia pura y de un alimento a dos velocidades de congelación. ....   | 15 |
| <b>Figura 7:</b> Comportamiento reológico de diferentes fluidos en una gráfica de esfuerzo cortante vs. velocidad de cizalla .....   | 25 |
| <b>Figura 8:</b> Esfuerzo vs. deformación correspondiente a un líquido newtoniano, un líquido viscoelástico y un sólido elástico perfecto en pruebas dinámicas .....   | 28 |
| <b>Figura 9:</b> Clásica curva de perfil de textura obtenida por un texturómetro de alimentos ..   | 32 |
| <b>Figura 10:</b> Correlación entre los resultados sensoriales con los instrumentales en una escala estándar de textura para las siguientes características: a. dureza, b. masticabilidad, c. fragilidad, d. gomosidad, e. adhesividad y f. viscosidad ..... | 35 |
| <b>Figura 11:</b> Flujo de proceso para la obtención de los tratamientos AMPSA, AMPCA, AMSP, PEPSA, PEPCA y PESP.....  | 39 |
| <b>Figura 12:</b> Curva de la pendiente de velocidad de congelación vs. tiempo, donde b: inicio de congelación y c: final de la congelación.....   | 41 |
| <b>Figura 13:</b> $\ln G'$ y $\ln G''$ vs. $\ln \text{strain}$ .....   | 45 |
| <b>Figura 14:</b> Curvas de congelación de los tratamientos AMPSA, AMPCA y AMSP.....   | 51 |
| <b>Figura 15:</b> Curvas de congelación de los tratamientos PEPSA, PEPCA y PESP .....  | 52 |
| <b>Figura 16:</b> Curvas de descongelación de los tratamientos AMPSA, AMPCA y AMSP ...   | 54 |
| <b>Figura 17:</b> Curvas de descongelación de los tratamientos PEPSA, PEPCA y PESP.....  | 55 |
| <b>Figura 18:</b> Barrido de amplitud de los tratamientos AMPSA, AMPCA y AMSP sin congelar (SC) y después de ser congelados/descongelados (C/D) .....  | 64 |
| <b>Figura 19:</b> Barrido de amplitud de los tratamientos PEPSA, PEPCA y PESP sin congelar (SC) y después de ser congelados/descongelados (C/D) .....  | 64 |
| <b>Figura 20:</b> Barrido de frecuencia de los tratamientos AMSP, AMPCA y AMPSA sin congelar (SC) y después de ser congelados/descongelados (C/D).....   | 67 |



|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 21:</b> Barrido de frecuencia de los tratamientos PEPSA, PEPCA y PESP sin congelar (SC) y después de ser congelados/descongelados (C/D).....                                 | 67 |
| <b>Figura 22:</b> TPA de los tratamientos AMPSA, AMPCA y AMSP sin congelar (SC) y después de ser congelados/descongelados (C/D) .....  | 73 |
| <b>Figura 23:</b> TPA de los tratamientos PEPSA, PEPCA y PESP sin congelar (SC) y después de ser congelados/descongelados (C/D) .....  | 73 |
| <b>Figura 24:</b> Diferencia total de color ( $\Delta E^*$ ) y del índice de amarillez (YI) promedio de los tratamientos con respecto al tiempo de almacenamiento en congelación ..... | 79 |
| <b>Figura 25:</b> Variación del pH de los tratamientos durante su almacenamiento en congelación.....   | 83 |
| <b>Figura 26:</b> Variación del contenido de materia seca (%) de los tratamientos durante su almacenamiento en congelación .....   | 84 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|  |     |
|--|-----|
| <b>ANEXO 1:</b> OBTENCIÓN DE LA MUESTRA PARA REALIZAR LAS PRUEBAS DE BARRIDO DE AMPLITUD Y FRECUENCIA .....                                      | 106 |
| <b>ANEXO 2:</b> OBTENCIÓN DE LA MUESTRA PARA REALIZAR EL ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA .....   | 107 |
| <b>ANEXO 3:</b> ANÁLISIS PROXIMAL DE LAS MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS ..   | 108 |
| <b>ANEXO 4:</b> GRÁFICAS OBTENIDAS PARA LA DETERMINACIÓN DEL TC Y TM EN LAS CURVAS DE CONGELACIÓN .....  | 114 |
| <b>ANEXO 5:</b> ANOVA Y LSD PARA LA TEMPERATURA DE INICIO Y FIN DE CONGELACIÓN .....   | 115 |
| <b>ANEXO 6:</b> ANOVA Y LSD PARA EL COLOR DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL 5 EFECTO DE LA CONGELACIÓN .....   | 116 |
| <b>ANEXO 7:</b> ANOVA Y LSD PARA EL PH DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL EFECTO DE LA CONGELACIÓN .....  | 120 |
| <b>ANEXO 8:</b> ANOVA Y LSD PARA EL CONTENIDO DE MATERIA SECA DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL EFECTO DE LA CONGELACIÓN .....                         | 121 |
| <b>ANEXO 9:</b> ANOVA Y LSD PARA LAS PRUEBAS REOLÓGICAS OSCILATORIAS DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL EFECTO DE LA CONGELACIÓN .....                  | 122 |
| <b>ANEXO 10:</b> ANOVA Y LSD PARA EL ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL EFECTO DE LA CONGELACIÓN .....                    | 127 |
| <b>ANEXO 11:</b> ANOVA Y LSD PARA EL COLOR DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL EFECTO DEL ALMACENAMIENTO EN CONGELACIÓN .....                            | 131 |
| <b>ANEXO 12:</b> ANOVA Y LSD PARA EL PH DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL EFECTO DEL ALMACENAMIENTO EN CONGELACIÓN .....                               | 139 |
| <b>ANEXO 13:</b> ANOVA Y LSD PARA EL CONTENIDO DE MATERIA SECA DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL EFECTO DEL ALMACENAMIENTO EN CONGELACIÓN .....        | 141 |
| <b>ANEXO 14:</b> ANOVA Y LSD PARA LAS PRUEBAS REOLÓGICAS OSCILATORIAS DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL EFECTO DEL ALMACENAMIENTO EN CONGELACIÓN ..... | 143 |

## RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar la estabilidad de un producto elaborado en base a papas cocidas, prensadas, envasadas y congeladas; a partir de dos variedades de papas amarillas nativas: Amarilla Tumbay y Peruanita. Se aplicaron tres tratamientos: (a) cocidas sin pelar, (b) cocidas peladas, y (c) cocidas peladas y sometidas a una solución de ácido cítrico al 3 por ciento por 5 minutos. Todos los tratamientos fueron congelados a  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  y almacenados durante 16 semanas a  $-21,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Se evaluó el efecto de la congelación en el pH, color, contenido de materia seca, propiedades viscoelásticas y TPA. Las propiedades mencionadas fueron evaluadas también durante el almacenamiento, excepto el TPA. Los resultados mostraron que los productos fueron afectados significativamente por la congelación con aumento en los valores de pH y materia seca, mientras que se presentó descenso de las propiedades viscoelásticas y de TPA. Durante el almacenamiento, los parámetros evaluados variaron significativamente, mínima reducción en el pH y materia seca, con disminución de los parámetros de color  $L^*$ ,  $b^*$  y YI, llegando a cierta estabilidad entre las semanas 6 y 8, con un efecto positivo en éstos del ácido cítrico. Los parámetros viscoelásticos en general fueron estables, presentando una respuesta predominantemente elástica. La baja dependencia de la componente elástica con la frecuencia ( $n'$ ) y los valores del ángulo de fase  $\delta$  indican que los tratamientos exhibieron un comportamiento que está más próximo a las de un gel débil. Los moderados cambios en los parámetros evaluados proveen evidencia que es posible mantener estable en congelación el producto elaborado a partir de papas nativas amarillas (Tumbay y Peruanita) en este proceso.

**Palabras clave:** papa amarilla; congelación; color; propiedades reológicas; estabilidad.

## **ABSTRACT**

The aim of this research work was to evaluate stability of two varieties of native potato: Amarilla Tumbay and Peruanita, cooked, pressed, packaged and frozen. Three treatments were applied: (a) cooked with peel, (b) cooked without peel, and (c) cooked without peel and subjected to citric acid solution (3%) for 3 minutes, then frozen at  $-15^{\circ}\text{C}$  and stored for 16 weeks at  $-21,1^{\circ}\text{C}$ . Over frozen/thawed condition, pH, color, dry matter content and viscoelastic properties and TPA were assessed and the same to storage time but without TPA. Results show that products are affected significantly by freezing increasing the values of pH, and dry matter, and with decreases of the viscoelastic properties and of TPA. Over storage time, valuated parameters varied significantly, with decreases in  $L^*$ ,  $b^*$  and YI, reaching a certain stability between weeks 6th and 8th, with a positive effect on citric acid, and reduced decreases in pH and dry matter. The viscoelastic parameters, on average, were stable, showing a predominantly elastic response, with higher storage modulus values than those of the loss modulus over the entire frequency range. The low dependence of the elastic component with the frequency ( $n'$ ) and the values of the phase angle  $\delta$  indicate that the treatments exhibited a behavior that is closer to those of a weak gel. Moderate changes in evaluated parameters provide evidence of the suitability of yellow native potatoes (Tumbay and Peruanita) to this process.

**Key words:** yellow potato; frozen; color; rheological properties; stability.

## I. INTRODUCCIÓN

La papa ha alimentado a millones de personas a lo largo de la historia en todo el globo terráqueo. Y es que la papa en sí, nativa de los Andes del Perú fue cultivada desde hace 8000 años y llevada por los españoles a Europa y de ahí se diseminó por todo el mundo. Existen más de 3000 variedades de papa a nivel nacional, entre las cuales podemos encontrar diferentes variedades como la papa blanca, negra, amarilla, entre otros; teniendo cada uno características organolépticas y fisicoquímicas diferentes una de otras, lo que abre una gran gama de estudio de este tubérculo y sus productos en la industria alimentaria (CIP 2006).

Una de las variedades más conocidas dentro de la industria alimentaria y gastronomía peruana es la papa amarilla. Este tubérculo con el nombre científico *Solanum goniocalyx*, pertenece a la familia *Solanaceae*, familia a la cual también pertenecen el tomate, ají, pimentón, entre otros (MINAGRI 2013). Dentro de la misma papa amarilla encontramos diferentes variedades, siendo las más conocidas y comerciales las variedades peruanita y amarilla tumbay o runtus (CIP 2006).

El consumo de la papa amarilla ha sido una de las principales fuentes de energía para los peruanos. Por sus características de textura, color y sabor, la papa es muy valorada tanto en el Perú como en el mundo. En la industria alimentaria también se ha realizado diferentes productos a base de papa entre los cuales tenemos las hojuelas (*chips*), papas al hilo, puré de papa deshidratado (*flakes*), pre-fritas congeladas (*french fries*), entre otros (Nieto 2005); pero no existen mayores estudios acerca del desarrollo de la papa pelada, cocida, prensada y congelada, con un tiempo mayor a cuatro meses de vida útil, y que sirve de producto intermedio para la elaboración del puré de papa amarilla. Adicionalmente, la papa amarilla es fuente de compuestos bioactivos y posee potencial antioxidante, por lo cual su demanda puede tornarse bastante promisorio (Bellumori *et al.* 2017).

Aunque la papa amarilla se pueda cultivar todo el año, los meses de mayor producción son de marzo a julio, haciéndola un alimento estacionario, lo que genera un problema de

abastecimiento en las empresas que quieran elaborar productos y abaratar costos de producción, o para exportación constante del tubérculo a otros países, especialmente a las grandes cadenas de supermercados, de restaurantes a nivel nacional e internacional (CIP 2006). Esta problemática insta a encontrar técnicas de conservación para obtener papas y/o productos de larga vida útil; siendo la técnica más satisfactoria y usada la congelación por ser un método de mínimo procesado del alimento, que conserva el alimento a largo plazo y que, aplicada correctamente permite mantener los atributos de calidad iniciales solo con una diferencia en la textura y color (Álvarez y Canet 2000).

Los estudios de investigación que han tratado la estabilidad de la papa corresponden a otras presentaciones: puré reconstituido, muestras cilíndricas, rodajas, papas enteras, crudas, con cáscara, puré de papa, entre otros diferentes a la propuesta en este trabajo (puré de papa cocida, prensada, envasada y congelada) y, además, de variedades no amarillas, coincidiendo todos en que la congelación afecta las propiedades físicas del alimento (Fernández *et al.* 2009, Álvarez *et al.* 2011, Phinney *et al.* 2017, Tsouvaltzis y Brecht 2017). Sin embargo, a pesar de estos cambios detectables en laboratorio, en el estudio de puré de papa los autores antes señalados manifiestan que los productos finales son aceptados sensorialmente; de tal manera que se crea la expectativa de emplear las papas congeladas como productos intermedios para el puré de papa donde los cambios no sean perceptibles tras agregarle los ingredientes para la elaboración del potaje.

Por otro lado, en estudios previos se encontró que después de la cocción de la papa ocurre un pardeamiento no enzimático (ACD) por reacción del ácido clorogénico de la cáscara con el hierro del alimento formando un complejo de color oscuro del alimento, afectando el color final del alimento (Hughes y Evans 1967). Se ha investigado la efectividad de diferentes compuestos para inhibir el ACD, entre los cuales están el sulfato de sodio, ácido málico, ácido pirofosfato de sodio y el ácido cítrico (Calder *et al.* 2012, Mosneaguta *et al.* 2012), obtuvieron resultados satisfactorios para el ácido cítrico por su mayor inhibición del ACD, poder antimicrobiano y por ser sensorialmente imperceptible.

Además, el hecho de exportar la papa entera como materia prima genera ingresos a nivel nacional, pero no se está utilizando el tubérculo de la mejor manera, ya que un nivel de transformación del alimento, como la congelación de la papa cocida y prensada, aumenta su

valor económico, asegura calidad tanto en sus características sensoriales como microbiológicas, genera más empleo y sería también una alternativa para exportación.

Por los motivos expuestos, en la presente investigación se busca evaluar los cambios de las características físicas, específicamente color, pH, contenido de materia seca y propiedades reológicas viscoelásticas, de dos variedades de papa amarilla (*Solanum goniocalyx*) cocidas y prensadas, con cáscara y sin cáscara, con y sin adición de ácido cítrico; durante su almacenamiento en congelación a  $-20^{\circ}\text{C}$  durante 16 semanas. Al no existir trabajos anteriores que hayan estudiado al respecto, se considera que los resultados de esta investigación serán sumamente útiles para la industria y futuras investigaciones.

Por todo ello, los objetivos de la presente investigación fueron:

- Determinar los parámetros de la congelación (temperatura y velocidad)
- Evaluar las características de materia seca, pH, color, propiedades viscoelásticas y del análisis de perfil de textura del producto de papa cocida y prensada; antes y después de la congelación
- Evaluar los cambios de las características de materia seca, pH, color y propiedades viscoelásticas durante el almacenamiento en congelación por cuatro meses del producto de papa amarilla cocida y prensada.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. LA PAPA AMARILLA

La papa amarilla es una planta alimenticia que ha estado vinculada con las culturas más remotas de nuestra historia. Los primeros habitantes del Perú (cazadores, recolectores, nómades) colectaron tubérculos de especies silvestres que se encuentran ampliamente distribuidas en nuestro territorio (Egúsquiza 2000). Según vestigios arqueológicos hallados en distintos lugares del país, la cronología de los cultivos andinos tiene más de 10 mil años y se llevó a cabo en diferentes lugares del Perú. Los primeros indicios datan de 8,000 a.C. y fueron hallados en la cueva Tres Ventanas, en el valle de Chilca, provincia de Cañete, al sur de Lima. Su presencia es segura hacia 4,400 y 3,100 a.C. en Ayacucho (MINAGRI 2011).

Algunos autores estiman que aproximadamente existen más de 5.000 variedades comestibles de papa, donde la mayor parte de la diversidad en variedades y cultivos silvestres de papa se concentra en la zona Andina de América del Sur (Hijmans 2003). Actualmente la papa es el cuarto cultivo de mayor importancia en el mundo después del arroz, el trigo y el maíz y se cultiva en más de 130 países. Las variedades más cultivadas son la subespecie *S. tuberosum tuberosum*, *S. goniocalyx*, *S. stenotomum*, *S. chaucha*, y *S. phureja* son de origen nativo (CIP 2006a).

A diferencia de las papas mejoradas, las variedades nativas, tienen un mayor contenido de sólidos por lo que son más nutritivas y dan un sabor especial a los preparados, siendo valorados en la gastronomía, siendo el caso de la papa amarilla *S. goniocalyx* una de las más utilizadas en la cocina (Álvarez y Repo 1999, Monteros *et al.* 2005). Además, estudios recientes han demostrado que las papas nativas contienen compuestos fenólicos y carotenoides los cuales presentan un amplio rango de variación dependiendo del genotipo (Peña y Restrepo 2013).



Por estas razones, las papas nativas, como la *S. goniocalyx*, tienen buen potencial para el desarrollo de nuevos productos, por lo que es necesario profundizar la investigación en estos cultivos, altamente promisorios y de trascendental importancia para la alimentación y desarrollo agroindustrial de nuestro país.

### **2.1.1. ASPECTOS GENERALES**

La papa amarilla es una planta herbácea anual por su parte aérea y perenne por sus tubérculos, (tallos subterráneos) crece hasta una altura entre 0.9 y 1 metro. Posee un tallo principal y/o varios tallos ramificados. El tubérculo de la papa es un tallo subterráneo ensanchado que posee yemas axilares protegidas por hojas escamosas – ojos; y tiene múltiples flores hermafroditas de color blanco al crema. Las raíces se desarrollan principalmente en verticilo con una profundidad hasta de 90 cm. (Montaldo 1984, FAO 2008).

El hábitat natural de la papa es la zona alta de los Andes comprendida entre los 3200 y 4000 m.s.n.m.; sin embargo, en la actualidad, la papa amarilla se cultiva en 19 de los 24 departamentos, desde el nivel del mar hasta los 4200 metros de altura, siendo los principales productores: Puno, Huánuco, Junín, Cusco y La libertad (Ordinola 2001, MINAGRI 2013).

### **2.1.2. TAXONOMÍA**

La papa amarilla pertenece a la familia *Solanaceae*, una familia a la que pertenecen también diferentes alimentos como el tomate (*Lycopersicon esculentum* Miller), el tabaco (*Nicotiana tabacum* L.), el pimiento (*Capsicum annuum* L.) y la berenjena (*Solanum melongena* L.), solo por nombrar algunas (Egúsqüiza 2000). La papa amarilla tiene diferentes variedades dentro de su misma especie, algunas de las cuales son: Rosas, *Runtus* o Amarilla, *Puka Ñawi Pasña*, *Puka Dusis*, Clavelina, *Allqa Ritipa Sisan* y Peruanita, siendo las más conocidas y utilizadas la variedad Amarilla Tumbay y Peruanita (CIP 2006a).

Ochoa (1999) clasifica taxonómicamente a la papa amarilla de la variedad Amarilla Tumbay y Peruanita de la siguiente manera:

|                    |  |
|--------------------|--|
| Reino:             | Vegetal  |
| División:          | Fanerógamas  |
| Subdivisión:       | Angiospermas   |
| Clase:             | Dicotiledóneas   |
| Subclase:          | Simpétala  |
| Sección:           | Anisocárpeas   |
| Orden:             | Tubifloríneas  |
| Familia:           | <i>Solanaceae</i>  |
| Género:            | <i>Solanum</i>   |
| Sección:           | <i>Petota</i>  |
| Especie:           | <i>goniocalyx</i>  |
| Nombre científico: | <i>S. goniocalyx</i> (amarilla) y <i>S. goniocalyx</i> Juz & Bukasov (peruanita) |

En la Figura 1 se puede observar el tubérculo de papa amarilla entera y corte transversal



**Figura 1: Tubérculo de papa amarilla variedad Peruanita (izquierda) y Amarilla Tumbay (derecha)**

FUENTE: CIP (2006a)

### 2.1.3. COMPOSICIÓN QUÍMICA

La composición química de los tubérculos de la papa amarilla de la variedad Peruanita y la variedad Amarilla Tumbay se presentan en la Tabla 1. La papa amarilla es

uno de los tubérculos con más contenido de materia seca en comparación a las demás papas, teniendo entre 22.98 y 31.80 por ciento del peso fresco de los tubérculos (Obregón y Repo 2013). La vitamina más abundante en las papas amarillas es la vitamina C teniendo para la variedad peruanita 10.81 mg/100 g de materia fresca y para la variedad Amarilla Tumbay 16.69 mg/100 g de materia fresca. Además, el mineral más abundante es el potasio, en promedio 897 mg/g de materia fresca (FAO 2008, MINSA 2009, Obregón y Repo 2013).

Los carbohidratos representan alrededor del 86 por ciento del peso en seco de los tubérculos, de los cuales cerca del 96 por ciento es almidón en ambas variedades. El resto de carbohidratos lo conforman la sacarosa, fructosa y glucosa (Morales 2011).

**Tabla 1: Composición química de la papa amarilla de las variedades Amarilla Tumbay y Peruanita por cada 100 gr de materia fresca**

| <b>Componentes</b>            | <b>Amarilla Tumbay</b> | <b>Peruanita</b> |
|-------------------------------|------------------------|------------------|
| <b>Agua (g)</b>               | 68.20                  | 72.10            |
| <b>Sólidos totales (g)</b>    | 31.80                  | 27.90            |
| <b>Carbohidratos (g)</b>      | 27.95                  | 23.44            |
| <b>Almidón (g)</b>            | 26.20                  | 23.01            |
| <b>Proteínas (g)</b>          | 2.33                   | 2.94             |
| <b>Extracto etéreo (g)</b>    | 0.07                   | 0.07             |
| <b>Fibra cruda (g)</b>        | 0.74                   | 0.47             |
| <b>Cenizas (g)</b>            | 0.71                   | 0.98             |
| <b>Vitamina C (mg)</b>        | 16.19                  | 10.81            |
| <b>Hierro (mg)</b>            | 0.40                   | 0.38             |
| <b>Ácido clorogénico (mg)</b> | 13                     | 11               |

FUENTE: Obregón y Repo (2013) y MINSA (2009)

Adicionalmente, Peña y Restrepo (2013) reportaron una cantidad poco significativa de compuestos fenólicos en la papa amarilla con valores menores a 328 µg/ 100mg de materia fresca, siendo el compuesto fenólico con mayor porcentaje el ácido clorogénico entre 45% y 90% del total del contenido de polifenoles, mientras que en papas con tonalidad rojas contienen anoticianinas predominantemente glucósidos acilados de pelargonidia, mientras

que las papas púrpuras contienen predominantemente glucósidos acilados de petunidina y pelaragonidina. Los más abundantes carotenoides en papas andinas son la luteína y la zeaxantina, teniendo en cuenta que la composición varía significativamente dependiendo de factores tales como el cultivo, clima, humedad, sol, temporada, cosecha y la post – cosecha (Morales 2011).

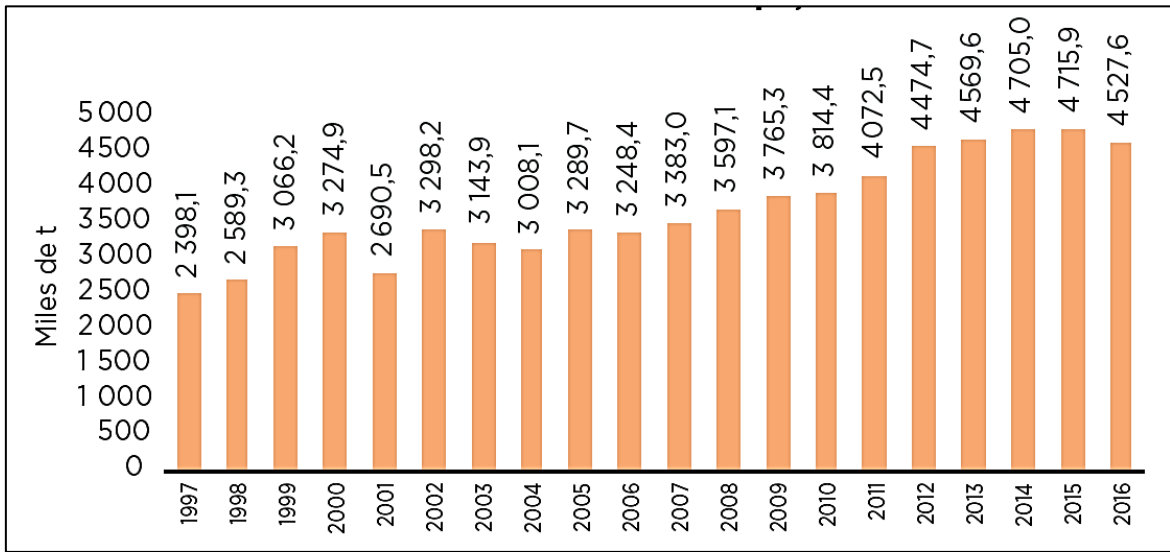
#### **2.1.4. PRODUCCIÓN**

No se reporta la producción de un tubérculo tan específico como la papa amarilla, sino como papa en general. La producción a nivel nacional en todas las especies de papas domesticadas ha aumentado al pasar los años como se ve en la Figura 2. Hubo un crecimiento anual promedio del 1.8% en la producción de papa bastante importante entre los años 1997 – 2016 y una tasa promedio anual de 3.4% (MINAGRI 2017). Del total de la superficie de papa sembrada en el país, para el año 2016, 311.2 mil hectáreas son destinadas a la producción de papa, ocupando el segundo lugar, después del arroz, dentro del conjunto de cultivos transitorios que se siembran cotidianamente en el país. El Perú en producción de papa a nivel mundial se posicionó en el puesto 14 con un total de 4704 miles de toneladas de papas cultivadas (MIAGRI 2017).

En el gráfico 3, se puede apreciar que este tubérculo se cultiva en 19 de las 25 regiones del país, siendo la región Puno, la de mayor producción y la región Lambayeque, la de menor producción).

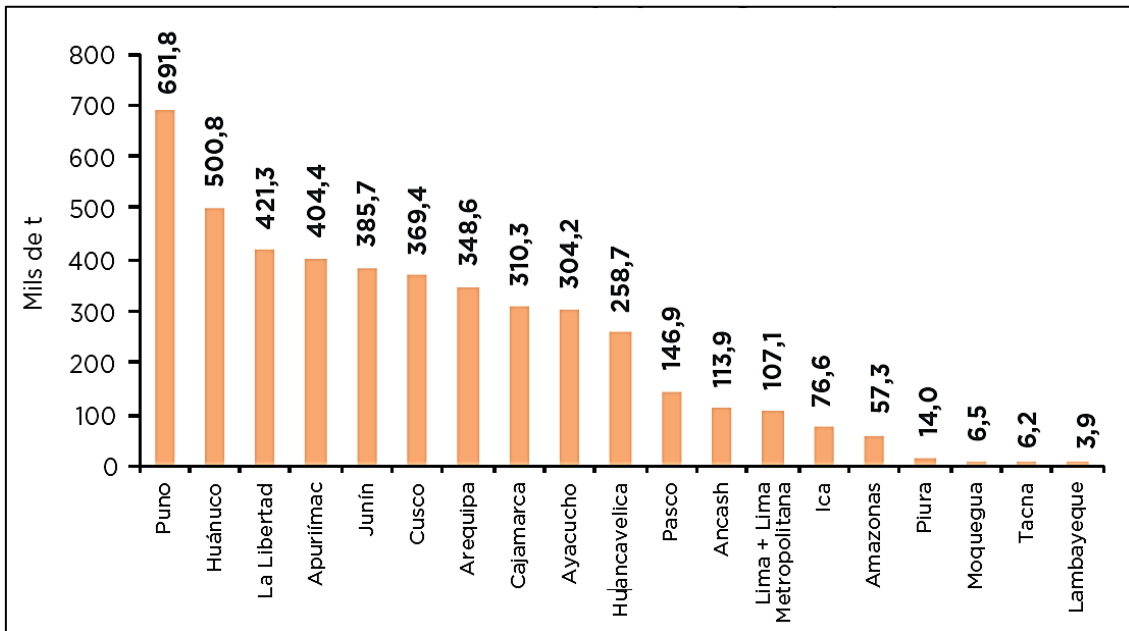
Por zonas de producción, el 47,1% de la producción nacional corresponde al conjunto de regiones de la Zona Sierra Sur del país (Puno, Apurímac, Cusco, Arequipa, Ayacucho, Moquegua y Tacna), el 28,5% al conjunto de regiones de la Zona Sierra Centro (Huánuco, Junín, Huancavelica y Pasco), el 20,3% al grupo de regiones la Zona Sierra Norte (La Libertad, Cajamarca, Ancash, Amazonas, Piura y Lambayeque); y, el 4,1% restante, a la producción de las regiones de la Zona Centro Costa (Lima e Ica).

A continuación, se presentan la Figura 2 con el historial de producción de papa en el Perú entre el año 1997 al 2016; y la Figura 3 con los departamentos que han producido más papa en el Perú para los años 2012 al 2016.



**Figura 2: Producción de Papa en el Perú, 1997 – 2016**

FUENTE: MINAGRI (2017)



**Figura 3: Principales Departamentos Productores de Papa, 2016**

FUENTE: INEI (2017)

La papa en general se produce todo el año, pero los picos más altos se alcanzan durante los meses de marzo a junio (MINAGRI 2017), como se muestra en la siguiente Tabla 2:

**Tabla 2: Estacionalidad de producción de papa, 2012 - 2016**

| CALENDARIO        |              |
|-------------------|--------------|
| MES               | (%)          |
| <b>Enero</b>      | 4.6%         |
| <b>Febrero</b>    | 5.6%         |
| <b>Marzo</b>      | <b>8.6%</b>  |
| <b>Abril</b>      | <b>18.7%</b> |
| <b>Mayo</b>       | <b>22.9%</b> |
| <b>Junio</b>      | <b>11.4%</b> |
| <b>Julio</b>      | 4.9%         |
| <b>Agosto</b>     | 3.3%         |
| <b>Septiembre</b> | 3.8%         |
| <b>Octubre</b>    | 5.0%         |
| <b>Noviembre</b>  | 5.5%         |
| <b>Diciembre</b>  | 5.6%         |
| <b>Total</b>      | <b>100%</b>  |

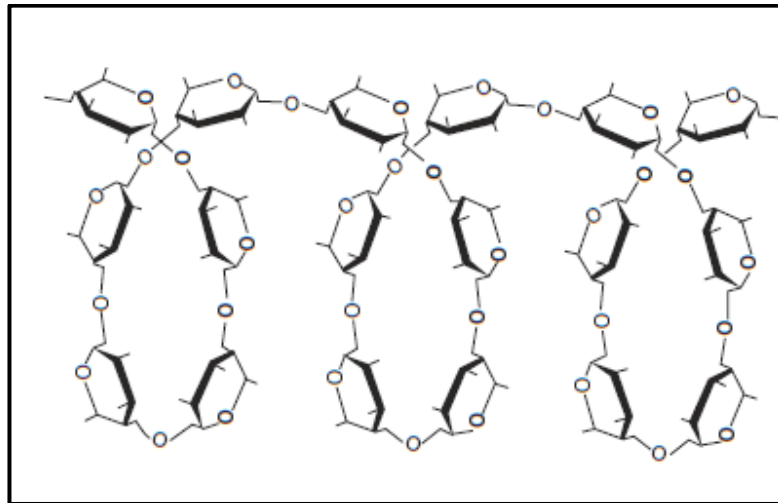
FUENTE: MINAGRI (2017)

## 2.2. ALMIDÓN DE PAPA

El almidón es una mezcla de dos polisacáridos muy similares, la amilosa y la amilopectina; el primero es producto de la condensación de D-glucopiranosas por medio de enlaces glucosídicos  $\alpha$  (1,4) (Figura 4), que establece largas cadenas lineales con 200 – 2500 unidades cuya unidad repetitiva es la  $\alpha$ -maltosa (Badui 2006). Por su parte, la amilopectina es una molécula muy grande y altamente ramificada (Figura 5), con enlaces de ramificación  $\alpha$ -D-(1,6), localizadas cada 15 – 25 unidades lineales de glucosa (Fennema 2000, Badui 2006). La amilopectina de la papa es la única que posee en su molécula grupos éster fosfato, unidos más frecuentemente (60 – 70 por ciento) en una posición O-6, mientras que el tercio restante lo hace en posición O-3 (Fennema 2000).

El almidón se diferencia de todos los demás carbohidratos en que en la naturaleza se presenta como complejas partículas discretas – gránulos (Fennema 2000). Estos cuerpos son birrefringentes, es decir, tienen dos índices de refracción, por lo cual cuando se irradian con

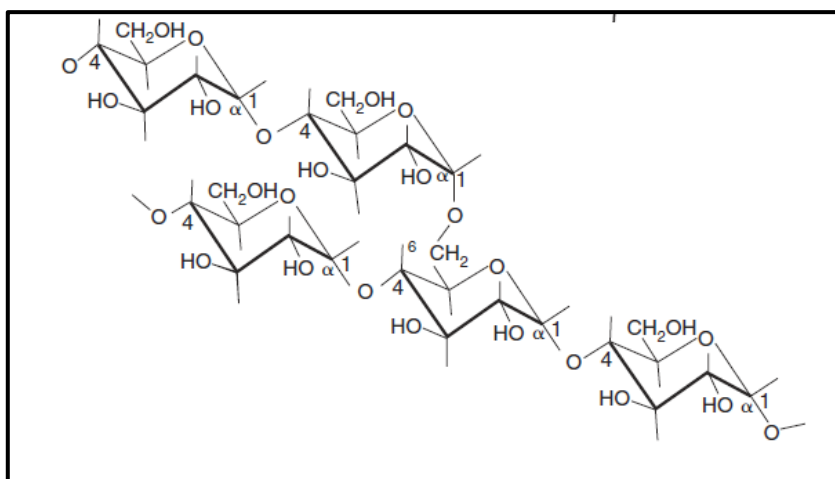
luz polarizada desarrollan la típica “cruz de malta”; esto se debe a que dentro del gránulo se localizan zonas cristalinas de moléculas de amilosa ordenadas paralelamente a través de puentes de hidrógeno, así como zonas amorfas causadas principalmente por la amilopectina, que no tienen la posibilidad de asociarse entre sí o con la amilosa



**Figura 4: Enrollamiento helicoidal de la amilosa**

FUENTE: Badui (2006)

La papa amarilla se caracteriza por su alto contenido de almidón a diferencia de otras variedades de papa como la blanca o, negra – el cual está en un rango entre 23.01 – 26.2 g/100 g de materia fresca (Obregón y Repo 2013). En la actualidad, se está empezando a caracterizar el almidón de diferentes papas nativas para su uso comercial y su futura aplicación en diferentes productos; por ello, no se cuenta con mucha data respecto a la caracterización de todas las papas existentes; sin embargo, en Colombia crece una variedad muy cercana a la papa amarilla, que es la *Solanum tuberosum* grupo *Phureja*, cuyas características del almidón se presentan en la Tabla 3. (Zárate-Polanco *et al.* 2014).



**Figura 5: Estructura química de la amilopectina**

FUENTE: Badui (2006)

**Tabla 3: Características del almidón de papa nativa crecido en los municipios de Sibaté y Granada (Colombia)**

| CARACTERÍSTICAS               | SIBATÉ                    | GRANADA                    |
|-------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Rendimiento de extracción (%) | $(9.09 - 17.67) \pm 1.27$ | $(8.59 - 19.43) \pm 1.55$  |
| Humedad (%)                   | $(14.4 - 21.67) \pm 1.96$ | $(9.33 - 18.4) \pm 2.59$   |
| Amilosa (%)                   | $(14.05 - 49) \pm 9.80$   | $(14.4 - 21.67) \pm 1.96$  |
| Amilopectina (%)              | $(51 - 85.95) \pm 9.80$   | $(53.09 - 84.39) \pm 9.07$ |
| Temperatura de gelatinización | $(63.5 - 74) \pm 2.69$    | $(61.9 - 68) \pm 1.88$     |
| Sinéresis en refrigeración    | $(3.94 - 21.19) \pm 5.03$ | $(2.12 - 22.52) \pm 4.41$  |
| Sinéresis en congelación      | $(1.2 - 33.94) \pm 9.61$  | $(0.0 - 18.47) \pm 5.67$   |

FUENTE: Zárate-Polanco *et al.* (2014)

### 2.2.1. GELATINIZACIÓN Y RETROGRADACIÓN DEL ALMIDÓN

La gelatinización es la transición de un estado ordenado de los gránulos a otro desordenado en el que se absorbe calor; evidencias de la pérdida del orden de los gránulos son: hinchamiento irreversible en los gránulos, pérdida de la birrefringencia y la pérdida de la cristalinidad (Fennema 2000, Badui 2006). Durante la gelatinización se produce la



lixiviación de la amilosa, pero también puede producirse antes de la gelatinización. La gelatinización total se produce normalmente dentro de un intervalo más o menos amplio de temperatura, siendo los gránulos más grandes los que gelatinizan primero.

Cabe indicar que al final de este fenómeno se genera una pasta en la que existen cadenas de amilosa de bajo peso molecular altamente hidratadas que rodean a los agregados, también hidratados, de los restos de los gránulos. La solubilización y la destrucción total de dichos gránulos se consiguen cuando se someten a temperaturas de autoclave y se acelera considerablemente con una agitación violenta. La cantidad de agua que absorben los diferentes almidones varía, pero se puede considerar que va de 40 a 55 gramos de agua por cada 100 g de sólido (Badui 2006),

La cinética de la gelatinización del almidón de la papa se ha estudiado aplicando la técnica analítica de calorimetría diferencial de barrido. Con ella se ha encontrado que existen dos constantes de velocidad, dependientes de la temperatura, que son un reflejo de la presencia de zonas amorfas y cristalinas (Badui 2006).

En cuanto a la retrogradación, éste fenómeno se define como la insolubilización y la precipitación espontánea, principalmente de las moléculas de amilosa, debido a que sus cadenas lineales se orientan de forma paralela y reaccionan entre sí por puentes de hidrógeno a través de sus múltiples hidroxilos; esto se puede efectuar por diversas rutas, según la concentración y de la temperatura del sistema (Badui 2006). Al enfriar y dejar en reposo las pastas de almidón, éste se hace progresivamente menos soluble. En soluciones diluidas si se calientan y se enfrían rápidamente (como la refrigeración o congelación), las moléculas de almidón tienden a precipitar, y este material insoluble es cada vez más difícil de redissolver por calentamiento (Fennema 2000, Badui 2006)

La velocidad de retrogradación depende de diversas variables, entre las que se encuentran: la relación molecular amilosa/amilopectina; las estructuras de las moléculas de amilosa y amilopectina, que vienen determinadas por la fuente botánica del almidón; la temperatura; la concentración de almidón; y por último, la presencia y concentración de otros ingredientes, como surfactantes y sales (Fennema 2000).

### 2.3. CONGELACIÓN

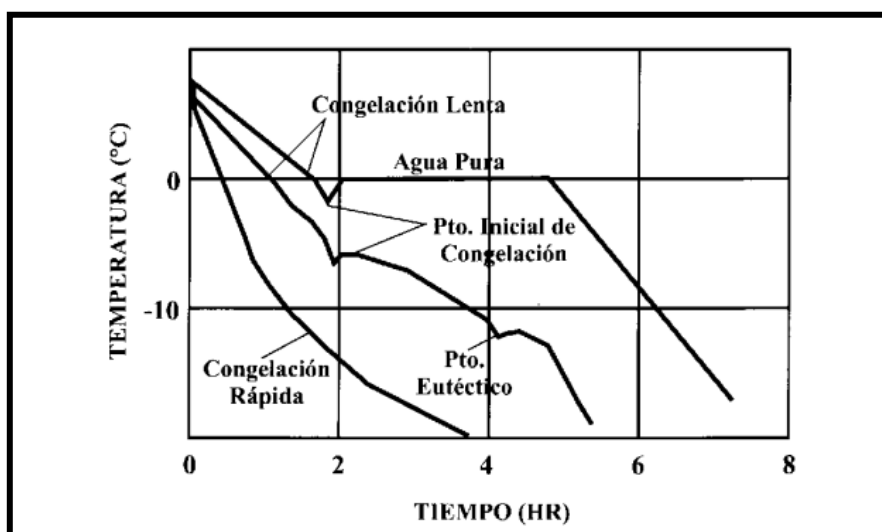
Hay que destacar que, después de la refrigeración, la congelación es el tratamiento que menos modificaciones produce en los alimentos, por lo cual está dentro de las denominadas tecnologías de mínimo procesado. La congelación es comúnmente aceptada como el método más satisfactorio para la conservación de alimentos a largo plazo. De forma que después de la descongelación los alimentos son casi idénticos a los productos crudos empleados como materia prima; correctamente aplicada, permite mantener los atributos de calidad y valor nutritivo iniciales del alimento, teniendo solamente diferencias en la textura respecto al producto fresco o previamente procesado que se congela. Por lo expuesto es de especial interés adaptar y optimizar los procesos en que se utiliza la congelación con el fin de disminuir el efecto negativo en la textura final de los productos (Lamua 2000, Umaña 2011).

La congelación consiste en la aplicación de temperaturas a los alimentos por debajo de cero grados centígrados, de forma que parte del agua del alimento se convierte en hielo. Al mismo tiempo, como el agua se solidifica, se produce una desecación del alimento, lo que contribuirá de forma significativa a una mejor conservación. Lógicamente, este efecto será más importante cuanto más baja sea la temperatura. La temperatura de elección a nivel internacional es de  $-18^{\circ}\text{C}/0^{\circ}\text{F}$ , ya que por debajo de ésta se estima que no es posible la proliferación de bacterias (significativamente), por lo que disminuye la posibilidad de alteración y se reducen los riesgos para la salud (Umaña 2011). En el caso de sustancias puras, en la congelación, primero se verifica la eliminación del calor sensible por enfriamiento y luego se retira el calor latente durante la congelación, que es la porción energética más considerable; pueden presentarse otros efectos térmicos como el calor de disolución de sales, aunque casi siempre son muy pequeños. En los alimentos frescos debe eliminarse también el calor generado por la respiración metabólica. Seguidamente se elimina el calor latente de congelación, lo que provoca la formación de cristales de hielo; también se retira el calor latente de otros componentes de los alimentos, como el de las grasas (Orrego 2008).

La duración del proceso de congelación depende de la velocidad de congelación ( $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ), el tiempo de congelación depende de la cantidad de calor a extraer, las dimensiones del producto (espesor) y su forma; así como de los parámetros del proceso de transferencia de calor y la temperatura del medio de enfriamiento (IIR 2006, Umaña 2011).

### 2.3.1. PARÁMETROS DEL PROCESO DE CONGELACIÓN

El proceso de congelación en los alimentos es más complejo que la congelación del agua pura. Los alimentos al contener otros solutos disueltos además de agua, presentan un comportamiento ante la congelación similar al de las soluciones. La evolución de la temperatura con el tiempo durante el proceso de congelación es denominada curva de congelación, de la cual se obtienen los parámetros del proceso de congelación (Umaña 2011). Estos son: la velocidad de congelación y la temperatura de inicio de congelación (Fennema 2000). La curva de congelación típica del agua pura y de un alimento se presenta en la siguiente Figura.



**Figura 6: Visión esquemática de los procesos de congelación de una sustancia pura y de un alimento a dos velocidades de congelación.**

FUENTE: Fennema (2000)

Las formas de las curvas de congelación no son iguales para cada alimento, pues están influenciadas por el tipo y la cantidad de solutos y sus solubilidades en el sistema multicomponente, su tendencia de formar soluciones y por la uniformidad del alimento; de ahí que varíen también su temperatura inicial de congelación (Fennema 2000).

A continuación, se describe cada parámetro de congelación.

### **a. VELOCIDAD DE CONGELACIÓN**

La velocidad de congelación ( $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ) se obtiene al dividir la diferencia entre la temperatura inicial del alimento menos la temperatura final entre todo el tiempo que tomo todo ese proceso para llegar a la temperatura final (IIR, 2006). La importancia del cálculo de la velocidad de congelación es porque la calidad de los alimentos congelados se encuentra influenciada por la velocidad con que se produce la congelación, así entre más rápido se produzca el congelamiento mejor calidad en el producto congelado pues influye en el crecimiento del cristal de agua dentro del alimento (Deshpande *et al.* 1984, Umaña 2011).

Las diversas características de calidad están muy relacionadas con el tamaño de los cristales el cual es una consecuencia de la velocidad con que se produce la congelación. El principal efecto de la congelación sobre la calidad de los alimentos es el daño que ocasiona en las células el crecimiento de los cristales de hielo. La congelación prácticamente no provoca deterioro desde el punto de vista nutritivo. La resistencia de diversos tejidos animales y vegetales a la congelación es muy diversa; así, frutas y vegetales, por ejemplo, presentan una estructura muy rígida por lo que la formación de los cristales de hielo puede afectarlos con mayor facilidad que a las carnes (Umaña 2011).

### **b. TEMPERATURA INICIO DE CONGELACIÓN ( $T_c$ )**

Durante la congelación del agua en un alimento, inicialmente sólo aparecen cristales de hielo puro; esto ocurre a la temperatura de inicio de la congelación (Orrego 2008). Para el agua pura esta temperatura corresponde a  $0^{\circ}\text{C}$  y permanece constante durante el cambio de fase Sin embargo, el agua de los alimentos contiene sólidos solubles y es conocido que el efecto de estos sólidos hace descender el punto de congelación del agua. Por ello la temperatura a la que se inicia la congelación de los alimentos es inferior a  $0^{\circ}\text{C}$  (Fennema 2000). La magnitud de este subenfriamiento depende de la composición del producto, y aunque es variable para los distintos productos, no es muy diferente entre ellos, siendo directamente dependiente del contenido en sólidos solubles, particularmente azúcares, sales y ácidos, más que del contenido de agua. La cantidad de hielo que se forma a una temperatura dada está también relacionada con el contenido inicial de sólidos solubles (Gutschmidt 1968, Fennema 2000).

Se han realizado diferentes análisis de la temperatura inicial de congelación con el fin de tener una referencia para la elaboración de concentrados de los mismos alimentos a través de la congelación, y de esta manera no afectar la calidad sensorial y organoléptica como cuando se hace con temperaturas altas para su concentración. Los alimentos tienen diferentes compuestos los cuales predominan en el alimento y varían la temperatura inicial de congelación: almidón en los tubérculos; azúcares - como glucosa fructosa y sacarosa- y ácidos -como el cítrico, málico y tartárico- en el caso de las frutas, que también tienen compuestos como la pectina; y la hemicelulosa y la celulosa en el caso de tallos verdes y plantas (Deshpande *et al.* 1984, Betalleluz y Velezmoro 2001). Della-Roca *et al.* (2013) estudiaron la temperatura de inicio de congelación de la papa y otros alimentos y reportaron lo siguiente: la papa con un Tc de  $-1.27^{\circ}\text{C}$ ; zanahorias con Tc de  $-1.11^{\circ}\text{C}$ , cebolla con  $-1.44^{\circ}\text{C}$  de Tc.

### **2.3.2. EFECTO DE LA CONGELACIÓN EN EL ALIMENTO**

El efecto de la congelación en los alimentos vegetales afecta principalmente en su estructura y textura. Lo más trascendental del efecto de la congelación en los alimentos es la localización de los cristales de hielo, pues su número y tamaño, junto con su velocidad de crecimiento durante la congelación, causan un mayor o menor deterioro irreversible en la estructura de los tejidos dependiendo de las características de la misma (Sun 2011).

Utilizando una velocidad de congelación lenta, los núcleos de cristales de hielo formados en el interior del alimento van a ser pocos y éstos van a crecer congelando así más agua, llegando al punto de crecer tanto que empiezan a cizallar las paredes celulares del alimento notándose éste fenómeno al descongelarlo. Mientras que una congelación rápida del alimento, los núcleos formadores de cristales van a estar en mayor cantidad y no aumentan su masa evitándose la cizalladura de las células del alimento (Deshpande *et al.* 1984). Por tanto, la velocidad de congelación rápida, y la consiguiente formación de pequeños cristales de hielo son críticos para minimizar el daño tisular y la pérdida de agua durante la descongelación, siendo por tanto un factor muy importante que afecta en gran medida la calidad de los alimentos congelados (Bevilacqua *et al.* 1979, Añón y Calvelo 1980, Bevilacqua y Zaritzky 1980). Este parámetro, es por otra parte esencial desde el punto de vista sanitario (crecimiento microbiano), técnico-operacional y económico.

La congelación también provoca el aumento de la concentración de los solutos presentes en productos e inversamente del descenso de la temperatura, la velocidad de las reacciones aumenta, a pesar de la disminución de la temperatura de acuerdo con la ley de acción de masas. Este incremento en la velocidad de las reacciones se produce a temperaturas entre  $-5^{\circ}\text{C}$  y  $-15^{\circ}\text{C}$  /  $23^{\circ}\text{F}$  a  $5^{\circ}\text{F}$ . El incremento en la concentración de los solutos provoca cambios en la viscosidad, el pH, el potencial redox del líquido no congelado, fuerza iónica, presión osmótica y tensión superficial, entre otros (Umaña 2011).

Como el volumen del hielo es superior al del agua líquida, la congelación de los alimentos provoca una dilatación, como por ejemplo al congelar agua en un recipiente se produce un levantamiento o alzamiento de hielo como una montaña. Esta dilatación puede variar en correspondencia con el contenido de agua, la disposición celular, la concentración de solutos y la temperatura del medio de congelación. Estas variaciones que se originan en el volumen provocan tensiones internas de gran magnitud sobre los tejidos lo que puede provocar desgarraduras internas (y hasta la rotura completa en caso de los tejidos vegetales), lo que originan pérdida de líquido durante la descongelación (Umaña 2011).

El efecto de la congelación sobre los alimentos está también en función del tamaño de la célula de los alimentos, ya que Jul (1982) señala que el efecto de la velocidad de congelación está en función del espesor de la muestra a congelar, señalando que, a células más pequeñas, los cristales de hielo formados ejercen menos presión sobre ellas evitando que se produzca la lisis celular del alimento.

En resumen, los mecanismos de daño por congelación en los tejidos vegetales son según Reid (1994) estos cuatro factores:

- Daño por congelación como resultado de exponer al vegetal a bajas temperaturas.
- Daño por concentración de solutos como resultado del incremento de la concentración de solutos en el líquido no congelado con la formación de cristales de hielo
- Daño por deshidratación como resultado de la transferencia osmótica de agua desde el interior de las células.
- Daño mecánico provocado por la formación de compactos cristales de hielo.

### 2.3.3. MÉTODOS DE CONGELACIÓN

Los métodos de congelación más comunes utilizados en la industria alimentaria se pueden agrupar según Umaña (2011) de la siguiente manera por su método básico de extraer calor de productos alimenticios:

- Congelación por aire comprimido o Congelador de impacto o ráfaga (por convección). En inglés *Blast Freezing*. Aire frío se hace circular a alta velocidad sobre producto. El aire remueve o quita el calor del producto y lo lanza a un intercambiador de calor de aire/refrigerante antes de ser recirculado.
- Congelación por contacto (conducción). El alimento, empaquetado o desempaquetado, se coloca en o entre superficies frías de metal. El calor es extraído por la conducción directa a través de las superficies, que son enfriadas directamente por un medio refrigerante que circula.
- Congelamiento criogénico (convección y o conducción). El alimento es expuesto a un ambiente debajo de  $-76^{\circ}\text{F}$  ( $-60^{\circ}\text{C}$ ) rociando el nitrógeno líquido o el bióxido de carbono líquido en la cámara de congelamiento.
- Congelamiento crío-mecánico por convección y/o conducción. El alimento primero se expone a congelar criogénicamente y entonces se usa refrigeración mecánica directa para acabar el congelamiento.

Cada método es utilizado en la industria de alimentos para conseguir una velocidad de congelación óptima según sea el producto y su presentación para que de esta manera la calidad del alimento no disminuya tras ser congelado. En la industria se usan los siguientes métodos para los siguientes productos: por ejemplo, de contacto directo en el caso de productos envasados como espinacas, la congelación por convección forzada de aire y el lecho fluido para productos a granel de tamaños y formas homogéneos, y la congelación criogénica para productos de estructura delicada y alto valor comercial,

## 2.4. CAMBIOS DEL ALIMENTO DURANTE EL ALMACENAMIENTO EN CONGELACIÓN

Los productos que son almacenados en congelación no permanecen estables durante todo el periodo de congelación, los cuales pueden prologarse por meses e inclusive años, pudiendo disminuir su calidad que está en función del tipo de producto y de la temperatura de congelación (Canet 1996). Puesto que a esas temperaturas de conservación, la proliferación microbiana queda ralentizada y la acción de los enzimas es muy lenta, las pérdidas de calidad que se producen durante la conservación de los productos vegetales al estado congelado a -18 °C, son debidas exclusivamente a cambios físicos y químicos que se producen en el propio producto, afectando principalmente la textura del producto; sin embargo, si las enzimas no resultan previamente inactivadas, la rotura de la membrana celular por los cristales de hielo puede favorecer la acción de estas al descongelarlas (Umaña 2011).

Uno de los efectos del almacenamiento es la retrogradación del almidón del alimento. Diferentes autores han estudiado el efecto de la conservación en congelación en almidones de diferentes alimentos. Se sabe que el almidón cocido en altas temperaturas presenta la propiedad de gelatinización, en donde, los primeros almidones en cocerse absorben mayor cantidad de agua dentro del alimento. Una solución concentrada caliente forma un gel rígido irreversible cuando se enfría rápidamente hasta alcanzar temperatura ambiente. Durante el enfriamiento el almidón gelatinizado adquiere dependiendo de la concentración dentro del alimento, una consistencia de pasta suave o gel. (Doublier y Choplin 1989, Fennema 2000). Estos geles sufren una transformación de su estructura, tanto la amilosa como la amilopectina se reasocian durante el almacenamiento. Los cristales empiezan a formarse dando lugar a un aumento gradual de la rigidez del gel y una separación de la fase entre el polímero y solvente conocida como sinéresis. Esto ocurre cuando la amilosa sufre retrogradación, cuando el gel se ha formado inapropiadamente, y especialmente cuando el gel se ha expuesto a los efectos de ciclos de congelación – descongelación. A medida que el agua se congela y descongela, el agua formada por fusión de los cristales de hielo no es capaz de reasociarse con el almidón. Las estructuras de amilosa resultantes son frágiles, perdiendo fácilmente el agua atrapada, fenómeno denominado sinéresis (Fennema 2000). Soni *et al* (1990) mencionan que cuando los almidones se someten a sucesivos ciclos de congelación, su estructura se ve afectada, ya que hay una redistribución y dilución de las pastas de almidón por el crecimiento y disolución de los cristales de hielo, de ahí que algunos almidones tengan



más sinéresis durante la congelación y se necesite almacenarlo en refrigeración, mientras que otros su sinéresis en congelación es muy baja y sean aptos para un almacenamiento a temperaturas bajo cero (Arocas 2008).

Un fenómeno que ocurre durante la conservación al estado congelado es la recrystalización. Se entiende por recrystalización del hielo al fenómeno que provoca crecimiento de los cristales de mayor tamaño a expensas de los más pequeños, siendo la fuerza impulsora para este fenómeno la diferencia de energía superficial entre dos cristales en contacto. Sin embargo, la recrystalización migratoria, la cual es la de mayor incidencia en los alimentos se produce fundamentalmente como consecuencia de fluctuaciones en la temperatura de almacenamiento, como por ejemplo pérdida de temperatura en cámaras que produzcan descongelamiento en un apagón prolongado y luego al recuperar temperatura se re congela produciéndose tal efecto. Cuando se incrementa la temperatura del producto congelado se produce la descongelación parcial de los cristales. Si después de ello la temperatura desciende, la congelación del agua descongelada no provoca el surgimiento de nuevos núcleos cristalinos, sino el crecimiento de los cristales ya existentes, esto se debe a que los pequeños cristales resultan más inestables que los grandes al poseer más energía en la superficie por unidad de masa (Fernández 2006, Umaña 2011). El efecto de la recrystalización durante la conservación y la distribución de los productos, puede eliminar los efectos positivos y los beneficios de la congelación rápida. Cuanta más baja es la temperatura, menores son los efectos, considerándose casi despreciables por debajo de los -60 °C. El mayor o menor crecimiento de los cristales de hielo, se acelera como consecuencia de elevadas temperaturas de conservación o por fluctuaciones de temperatura. Ello provoca una pérdida de calidad en el producto similar a la que se produciría si la descongelación hubiese sido lenta, ello reviste de importancia la conservación de la cadena de frío.

Otro factor importante a tener en cuenta es la sublimación de hielo en la superficie del producto se puede producir a lo largo de la conservación de aquellos productos que no se han envasado adecuadamente, causando la desecación del mismo con la consiguiente acumulación del agua extraída en forma de escarcha en el interior del envase. Además de ocasionar pérdidas de peso indeseables, la desecación excesiva del producto puede conducir a alteraciones oxidativas en la superficie del producto (quemadura por congelación) de efecto negativo en la calidad; además, aunque las fluctuaciones de la temperatura producen gradientes de temperatura con una inversión periódica en su dirección, la humedad no

retorna a rehidratación inicial y las concentraciones diferentes de humedad en las distintas zonas del producto conducen el agua hacia la superficie y desde ésta a la atmósfera que rodea al producto (Canet 1988, Reid 1994). Los valores típicos de pérdidas de peso por migración de la humedad fluctúan desde casi cero hasta alrededor de 1% por mes. Varios trabajos han reportado que la velocidad de sublimación se duplica cada 10° C de ascenso de la temperatura. Sin embargo, manteniendo la humedad relativa del cuarto frío constante, la velocidad de pérdida de humedad también se duplicará por cada incremento en 7°C de la temperatura. Esta diferencia puede explicarse al considerar que en el diagrama psicrométrico un descenso de temperatura puede ocasionar, si hay ligera condensación, una menor humedad que puede tornarse en una humedad relativa baja si se presenta un calentamiento del aire por fuentes de calor como iluminación, motores, calentamiento a través de las paredes de la cava o del piso (Orrego 2008).

Como se mencionó anteriormente, la congelación y la conservación en congelación afectan principalmente la estructura. Canet *et al.* (2005) reporta que la viscosidad aparente del puré de papa variedad Kennebec baja durante el proceso, indicando una estructura débil, mientras que un puré realizado con papa en polvo, su viscosidad aumenta mientras el proceso de calentamiento va aumentando, estos son característicos en estructuras en suspensión. Mientras que otros estudios como en salsas calientes que son preparadas con algunos almidones que han pasado por el ciclo descongelación – congelación no presentaron sinéresis ni cambios en el comportamiento viscoelástico pues tras calentar el almidón reabsorbe agua produciéndose una cierta recuperación estructural, mientras que otros almidones son todo lo contrario dependiendo del origen del alimento del que se haya extraído el almidón (Hernández-Medina *et al.* 2008).

Los cambios químicos y bioquímicos durante el almacenamiento en congelación son lentos, los cuales son provocados por reacciones químicas enzimáticas y no enzimáticas. Entre estos cambios se tienen: degradación de pigmentos, pérdidas vitamínicas, actividad enzimática residual y oxidación de lípidos. Su influencia en la calidad es especialmente importante, porque estas reacciones van asociadas a la aparición de olores y sabores extraños, cambios de color debido a la ruptura de clorofilas y otros pigmentos naturales, desarrollo de pardeamiento enzimático y autooxidación de ácido ascórbico. Las alteraciones de color durante la conservación de vegetales congelados como resultado de un pardeamiento enzimático son causadas por la oxidación de fenoles en presencia de oxígeno en productos

tales como coliflor, patatas y champiñones. La reacción es catalizada por polifenoloxidasas, dando lugar a quinonas que condensan en la forma de compuestos marrones o rojizos amarronados con una más o menos bien definida composición química. Las quinonas a su vez actúan como oxidantes de otros sustratos tales como ácido ascórbico, antocianinas y demás. Tal pardeamiento enzimático puede ser minimizado por inactivación térmica de enzimas, adición de inhibidores o por exclusión de oxígeno (Fennema 2000, Umaña 2011). El escaldado es claramente el método más apropiado para prevenir el pardeamiento enzimático. Sin embargo, Calder *et al.* (2012) reportaron un oscurecimiento no enzimático de la papa después de la cocción, el cual atribuyeron que se debe a la formación de un complejo entre el hierro y el ácido clorogénico, creando ácido ferridiclorogénico que da un color azul grisáceo a las papas después de cocción. Entre los factores que influyen en este oscurecimiento se encuentra la variedad, la forma de cultivo, el pH y el contenido de humedad; así como la relación que existe entre el contenido de ácido cítrico y ácido clorogénico, hierro y ácido ascórbico. El mismo autor realizó pruebas con diferentes compuestos para evitar el oscurecimiento de la papa cocida teniendo unos resultados bastante buenos con ácido cítrico para la papa variedad Kennebec.

## **2.5. DESCONGELACIÓN**

Cuando un alimento se descongela, la capa superficial de hielo se funde formando una capa de agua líquida cuyas propiedades térmicas son inferiores a las del agua en estado sólido. Como consecuencia de ello se acelera la velocidad con que se transfiere calor hacia el interior del alimento, aumentando este efecto aislante en la medida que la capa de alimento descongelado se incrementa. Es por ello que la descongelación de un alimento, (para igual gradiente de temperatura), es más lenta que su congelación (Umaña 2011).

Durante la descongelación, la humedad se separa fácilmente de la matriz del alimento y esta agua procedente de los cristales de hielo, así como el daño celular provocado por la congelación lenta y la re-cristalización originan la pérdida de componentes celulares, todo ello se manifiesta como un exudado en el que se pierden diversos compuestos de valor nutricional (Rahman 1999, Umaña 2011). Así, la literatura sobre congelación de frutas y vegetales, confirma que existe una relación inversamente proporcional entre la velocidad de congelación y la cantidad de exudado durante la descongelación (Rahman *et al.* 1971, Drake *et al* 1981, Marti y Aguilera 1991).

El agua del exudado no vuelve a su localización inicial, dando lugar a un ablandamiento de la textura y a un deterioro inevitable de la calidad global, afectando las propiedades reológicas del alimento. El efecto de las condiciones de descongelación en el comportamiento reológico es un factor importante en los estudios de las propiedades de flujo. Las condiciones de descongelación tienen una mayor influencia en las propiedades reológicas que el número de ciclos de congelación-descongelación aplicados a cremas o purés vegetales (Rahman 1999, Álvarez y Canet 2001a, Álvarez y Canet 2001b).

La descongelación debe ser concebida de manera que resulten mínimos los siguientes fenómenos: crecimiento microbiano, pérdida de líquido, pérdidas por deshidratación y pérdidas por reacciones de deterioro. La descongelación controlada suele efectuarse a una temperatura ligeramente superior a la del punto de descongelación, por ejemplo, a temperatura de refrigeración. Como se indica con anticipación, el mantenimiento prolongado del producto a temperaturas ligeramente inferiores a 0° C resulta desfavorable pues el producto queda expuesto a concentraciones relativamente altas de solutos y se favorece el desarrollo de microorganismos psicrófilos (Umaña 2011).

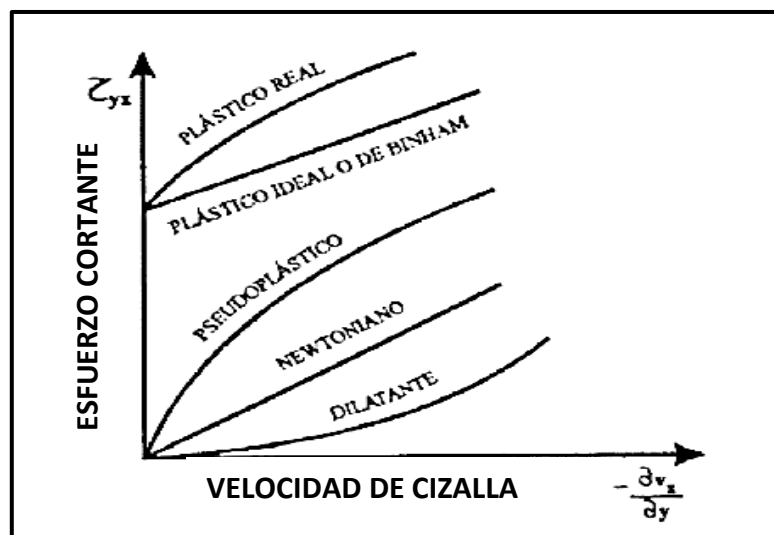
Por tanto, obtener el procedimiento de descongelación óptimo debe ser una preocupación de los tecnólogos de alimentos (Fennema 2000, Kalichevsky *et al.* 1995). Si el alimento no se descongela rápidamente, se producen cambios estructurales, se forman exudados con el consiguiente aspecto desagradable del alimento y la pérdida de peso.

## **2.6. REOLOGÍA**

La reología se define como la ciencia de la deformación y el flujo de la materia, es decir, la manera en la cual los materiales responden a un esfuerzo o tensión aplicada (Quintáns 2008). La ciencia de la reología creció considerablemente debido al trabajo de investigación realizado sobre polímeros sintéticos y sus soluciones en diferentes disolventes que, a su vez, fue necesario debido a los muchos usos de los polímeros ("plásticos") en aplicaciones cotidianas e industriales (Rao 2014).

Desde el punto de vista reológico, el comportamiento elástico es característico de los sólidos, los cuales se deforman bajo la acción de pequeñas fuerzas externas, de manera que estas deformaciones se invierten espontáneamente cuando se eliminan las fuerzas. Las

propiedades reológicas de tales materiales obedecen a la ley de Hooke. Por otra parte, el comportamiento viscoso es característico de los fluidos. Cuando se les aplica una fuerza externa se deforman – fluyen – y la deformación continúa mientras la fuerza siga presente, cesando (sin invertirse) cuando la fuerza se suprime. Las propiedades reológicas de los fluidos pueden describirse por la ley de Newton, la cual expresa que la fuerza aplicada es directamente proporcional a la velocidad de deformación, siendo independiente de la propia deformación. Sin embargo, también hay fluidos viscosos que no obedecen a la ley de Newton y que por tanto, exhiben una dependencia no lineal entre la fuerza y la velocidad de deformación. Este tipo de fluidos se conocen con el nombre de fluidos no newtonianos y la mayoría de ellos presentan un comportamiento pseudoplástico (Rao 1977, Barnes *et al.* 1989).



**Figura 7: Comportamiento reológico de diferentes fluidos en una gráfica de esfuerzo cortante vs. velocidad de cizalla**

FUENTE: Quintáns (2014)

Los fluidos pseudoplásticos son aquellos para los cuales, sin que exista una proporcionalidad constante, al aumentar la fuerza de velocidad de cizalla también aumenta. Es decir, la viscosidad aparente disminuye al aumentar la velocidad de cizalla. Alimentos tales como, concentrados de zumo de naranja (Vitali y Rao 1984), purés de frutas (Guerrero y Alzamora 1998, Álvarez *et al.* 2008), ketchup (Rao 2014), puré de camote (Kyereme *et al.* 1999),

pastas de harina de arroz (Wang *et. al.* 2007) entre otros, muestran un comportamiento pseudoplástico.

Algunos alimentos semisólidos presentan a menudo una propiedad que indica una transición entre un comportamiento sólido y líquido: el umbral de fluencia. Este tipo de fluidos se caracterizan por necesitar alcanzar un valor determinado del esfuerzo de cizalla,  $\sigma_0$ , para empezar a fluir. Generalmente este tipo de alimentos están constituidos por dos o más fases, una o más de las cuales se hallan dispersas en forma de partículas en la fase líquida (Fernández 2008).

Para representar el comportamiento de los diferentes flujos se han utilizado diferentes modelos. Según Fernández (2008) el modelo de la Ley de la potencia de Ostwald de Waele es uno de lo más frecuentemente utilizados para describir el flujo de productos alimenticios sin umbral de fluencia como jugos y néctares; mientras que los modelos de Casson y Herschel-Bukley se han empleado para alimentos con umbral de fluencia, como purés alimenticios.

Quintáns (2014) menciona que el conocimiento de las propiedades reológicas de los alimentos es necesario en la industria para los siguientes casos:

- Cálculos necesarios para ingeniería de procesos que implican el diseño de tuberías, bombas, mezcladores, intercambiadores de calor, homogeneizadores, etc.
- La influencia de un ingrediente de tipo funcional sobre el desarrollo del producto.
- Control de calidad del producto.
- Evaluación de la textura del alimento mediante relación con datos sensoriales.

Sin embargo, los modelos que describen la reología en estado estacionario, como los mencionados antes, muchas veces son insuficientes para describir el comportamiento de alimentos que contienen en su estructura almidones y proteínas. Sobre todo, cuando la concentración de sólidos en dispersión es alta y el alimento puede presentar características similares a las de un sólido o a las de un líquido al ser sometido a fuerzas de cizalla, cambios de la temperatura, etc. En este caso es más apropiado medir las propiedades viscoelásticas

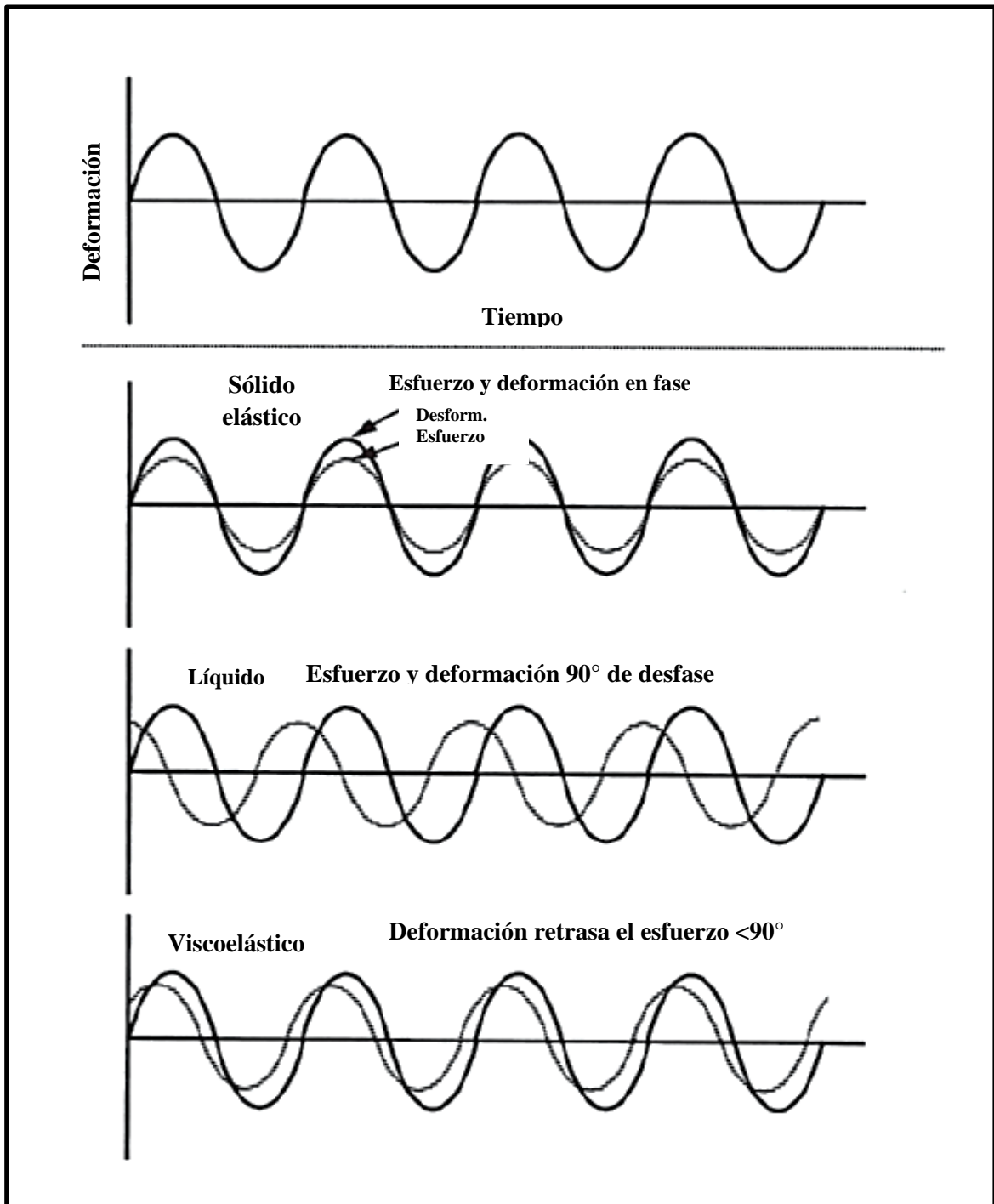
mediante pruebas reológicas dinámicas, las que a la vez permitirán obtener una visión de la microestructura del alimento (Fernández 2014)

### 2.6.1. ENSAYOS OSCILATORIOS DE BAJA AMPLITUD O DINAMICOS

En este tipo de pruebas, la muestra del alimento se somete a una deformación oscilante sinusoidal cuyo comportamiento resultante ha sido estudiado. Para poder realizar estos tipos de pruebas es necesario establecer primero la región viscoelástica lineal del alimento utilizando un Barrido de amplitud, ya que, dentro de estos límites, las propiedades viscoelásticas son independientes de la amplitud de la deformación. Por lo tanto, para un sólido perfectamente elástico, toda la energía se almacena, es decir,  $G''$  es cero y el esfuerzo y la deformación estarán en fase. Por el contrario, para un líquido sin propiedades elásticas, toda la energía se disipa en forma de calor, es decir,  $G'$  es cero y el esfuerzo y la deformación estarán fuera de fase de  $90^\circ$  (Figura 8) (RAO 2014).

Las muestras pasaron por las siguientes fases para obtener los resultados correspondientes:

- **Barrido de amplitud:** La muestra viscoelástica es sometida a un esfuerzo continuamente creciente a una frecuencia oscilatoria constante. Como el esfuerzo crece continuamente, inicialmente,  $G'$  y  $G''$  se mantienen constantes hasta que un valor crítico de esfuerzo, donde  $G'$  y  $G''$  disminuyen drásticamente. Ésta pruebas es utilizada para determinar tanto la región no lineal como la lineal del alimento viscoelástico y el *yield stress* o la tensión de fluencia el cual se determina tomando logaritmos neperianos de la gráfica yield strain vs.  $G'$  y  $G''$ .



**Figura 8: Esfuerzo vs. deformación correspondiente a un sólido elástico perfecto, un líquido newtoniano y un líquido viscoelástico en pruebas dinámicas**

FUENTE: Rao (2014)



Una vez establecida la región lineal, se realiza la siguiente prueba para determinar las propiedades viscoelásticas de los alimentos viscoelásticos, que es:

- **Barrido de amplitud:** La muestra viscoelástica es sometida a un esfuerzo continuamente creciente a una frecuencia oscilatoria constante. Como el esfuerzo crece continuamente, inicialmente,  $G'$  y  $G''$  se mantienen constantes hasta que un valor crítico de esfuerzo, donde  $G'$  y  $G''$  disminuyen drásticamente. Ésta pruebas es utilizada para determinar tanto la región no lineal como la lineal del alimento viscoelástico y el *yield stress* o la tensión de fluencia el cual se determina tomando logaritmos neperianos de la gráfica yield strain vs.  $G'$  y  $G''$ .

Una vez establecida la región lineal, se realiza la siguiente prueba para determinar las propiedades viscoelásticas de los alimentos viscoelásticos, que es:

- **Barrido de frecuencia:** Los estudios de barrido de frecuencia en el que  $G'$  y  $G''$  se determinan como una función de la frecuencia ( $\omega$ ) a una temperatura fija. Cuando se realizan correctamente, las pruebas de barrido de frecuencia proporcionan datos a través de una amplia gama de frecuencias. Sin embargo, se requieren de sus parámetros fundamentales, cada prueba debe limitarse al comportamiento lineal viscoelástico. Con frecuencia, uno ve el aumento de  $G'$  y  $G''$  con una frecuencia creciente (Rao 2005).

Se utilizan diferentes parámetros para la interpretación del comportamiento viscoelástico del alimento, los principales son según Rao (2005) y Mandala (2012):

- **Módulo de almacenamiento ( $G'$ ):** Representa la parte elástica del alimento. Expresa la magnitud de la energía almacenada en el material o recuperable por ciclo de deformación.
- **Módulo de pérdida ( $G''$ ):** Representa la parte viscosa del alimento. Es la medida de la energía que se pierde como disipación viscosa por ciclo de deformación.

- **Ángulo de fase ( $\delta$ ):** es el ángulo de desfase que tiene la relación del módulo de pérdida entre el módulo de almacenamiento hacia los  $90^\circ$ . Se calcula sacando el arcotangente a partir del resultado de la función  $\text{Tan } \delta: G''/G'$ .

Se ha descubierto que estas funciones viscoelásticas juegan un papel importante en la reología de los polisacáridos estructurados (Rao 2005). También se puede emplear la notación utilizando variables complejas y definir un módulo complejo  $G^*(\omega)$  (Ecuación 1), Rao (2005) también observó que la viscosidad dinámica y la rigidez dinámica son componentes de la viscosidad dinámica compleja,  $\eta^*$ . (Ecuación 2).

$$|G^*| = \sqrt{(G')^2 + (G'')^2} \quad (1)$$

$$\eta^* = (G^*/\omega) = \eta' - i(G''/\omega) \quad (2)$$

Donde  $\omega$  es la velocidad de frecuencia.

Para poder estudiar el comportamiento viscoelástico en los alimentos que tienen este tipo de propiedad, se han desarrollado diferentes modelos como el Modelo Newtoniano, Ley de la Potencia, Modelo Casson, entre otros; los cuales han sido utilizados para estudiar los perfiles reológicos (Rao 2014). La Ley de la Potencia es la más utilizada para caracterizar los alimentos fluidos debido a que contiene sólo dos parámetros que pueden describir los datos de esfuerzo cortante y la velocidad de cizallamiento.

- **Ley de la potencia:** Los gráficos de muchos fluidos se vuelven lineales cuando se grafican en coordenadas logarítmicas dobles y el modelo de ley de potencia (Ecuación 3) describe los datos de los fluidos espesantes y de dilución de cizallamiento:

$$\sigma = K\dot{\gamma}^n \quad (3)$$

Donde:  $K$  ( $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$ ) es el coeficiente de consistencia: es la tensión de corte a una velocidad de corte de  $1.0 \text{ s}^{-1}$  y el exponente  $n$ , el índice de comportamiento de flujo, es adimensional y refleja la proximidad al flujo newtoniano. El parámetro  $K$  a veces

se denomina índice de consistencia. Para el caso especial de un fluido newtoniano ( $n = 1$ ), el índice de consistencia  $K$  es idéntico a la viscosidad del fluido,  $\eta$ . Cuando la magnitud de  $n < 1$ , el fluido es diluyente de cizalladura y cuando  $n > 1$ , el fluido es espesante de cizallamiento en la naturaleza. Tomando logaritmos de ambos lados de la Ecuación 03 se obtiene la Ecuación 4:

$$\log \sigma = \log K + n \log \gamma \quad (4)$$

Los parámetros  $K$  y  $n$  se determinan a partir de una gráfica de  $\log \sigma$  versus  $\log \gamma$ , y la intersección de la recta resultante es  $\log K$  y la pendiente es  $n$ .

Debido a su utilidad, diferentes autores aplicaron este modelo a diferentes alimentos como el jugo de durazno, puré de vegetales y puré de papas (Fernández *et al.* 2009, Augusto *et al.* 2011, Álvarez *et al.* 2013) obteniendo buenos resultados.

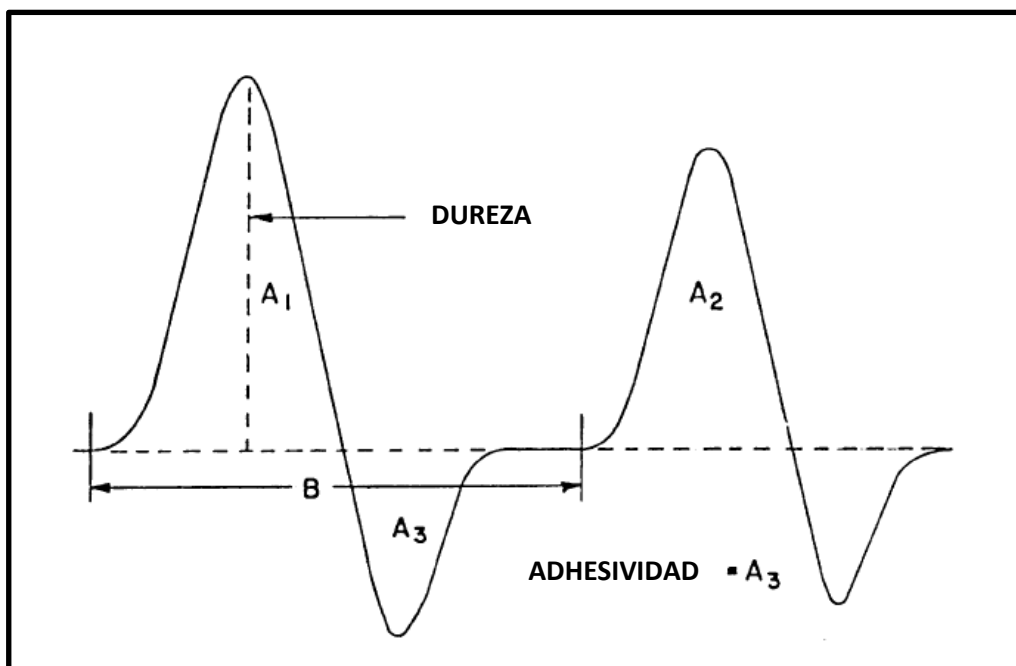
Álvarez y Canet (1999) determinaron los intervalos de viscoelasticidad lineal y espectros mecánicos en puré de patata fresco y congelado reconstituido a partir de copos deshidratados. La congelación tuvo un efecto significativo en el rango de viscoelasticidad lineal, que fue más estrecho en las muestras procesadas con una fragilidad superior, así como en los valores del módulo elástico ( $G'$ ), módulo viscoso ( $G''$ ) y viscosidad compleja ( $\eta^*$ ) que fueron inferiores tras la congelación, dado que las células son menos elásticas, disminuyendo la fricción entre ellas en respuesta al daño mecánico ocasionado.

## 2.7. ANÁLISIS DE TEXTURA INSTRUMENTAL

Es difícil relacionar el mundo instrumental con el mundo sensorial, ya que éste último no se puede medir directamente, y el problema se complica cuando, como ocurre en el caso de la textura, las variables físicas son sólo estímulos parcialmente responsables de la sensación. La textura depende principalmente de la percepción de la respuesta del alimento cuando actúan sobre determinadas fuerzas durante la masticación o la manipulación previa a la ingestión, y el comportamiento reológico de los alimentos es el que pone de manifiesto cuando actúan sobre él fuerzas externas (Durán 1997). El desarrollo de un método instrumental para la medida de la textura es un objetivo largamente perseguido en el área de la tecnología de alimentos (Pons y Fiszman 1996), siendo el Análisis de Perfil de Textura

(TPA) la pieza clave del “puente” entre las evaluaciones sensorial e instrumental de la textura (Fizman 1997).

El TPA está basado en el reconocimiento de la textura como una propiedad multiparamétrica y en la clasificación de algunas de sus características. El ensayo implica dos compresiones uniaxiales sucesivas separadas por un tiempo de relajación (Szczesniak 2002). Esto produce una deformación pseudosinusoidal que simula de una manera correcta la acción de la mandíbula en el proceso de masticación, considerándose que las propiedades texturales derivadas de este ensayo, están muy próximas a las que valoraría el sujeto humano (Friedman *et al.* 1963, Fizman 1997, Szczesniak 2002). Mediante esta doble compresión se obtiene una curva, de fuerza frente a tiempo, a partir de la cual se definen varios parámetros de textura (Pons y Fizman 1996, Roudot 2004), bien por medida directa, bien por cálculo de superficies como se muestra en la Figura 9.



**Figura 9: Clásica curva de perfil de textura obtenida por un texturómetro de alimentos**

FUENTE: Szczesniak (2002)

En las pruebas de TPA en alimentos, por lo general se utiliza las siguientes características las cuales se definen en la Tabla 4.

Szczesniak (2002) menciona que se encontraron excelentes correlaciones entre las valoraciones instrumental y sensorial en el trabajo inicial sobre TPA (Figura 10). Las publicaciones posteriores de otros investigadores que usan el Instron (en lugar del Texturometer General Foods que exhibe una forma sinusoidal de aplicación de la fuerza) generalmente coinciden en las buenas y excelentes correlaciones de dureza (basadas en los valores 'r' calculados). Las correlaciones para otros parámetros suelen ser menos buenas y dependientes del producto. Esta área debe ser reexaminada utilizando protocolos de investigación amplios, más que específicos de cada producto.

**Tabla 4: Definiciones físicas y sensoriales de los parámetros de la textura**

|                                | <b>Física</b>   | <b>Sensorial</b>   |
|--------------------------------|---|--|
| <i>Propiedades principales</i> |   |  |
| <b>Dureza</b>                  | Fuerza necesaria para alcanzar una deformación dada   | Fuerza necesaria para comprimir una sustancia entre los morales (en el caso de los sólidos) o entre la lengua y el paladar (caso de los semisólidos) |
| <b>Cohesividad</b>             | Grado en que se puede deformar un material antes de romperse.   | Grado en el cual una sustancia se comprime entre los dientes antes de que se rompa.  |
| <b>Elasticidad</b>             | Velocidad a la que un material deformado vuelve a su condición no deformada después de que se retira la fuerza de deformación | Grado en el que un producto vuelve a su forma original una vez que ha sido comprimido entre los dientes  |
| <b>Adhesividad</b>             | Trabajo necesario para superar las fuerzas atractivas entre la superficie del alimento y la superficie de los otros           | Fuerza necesaria para quitar el material que se adhiere a la boca (generalmente el paladar)  |

<<continuación>>

---

|  |  |
|--|--|
| materiales con los que el alimento entra en contacto | durante el proceso de alimentación normal. |
|--|--|

---

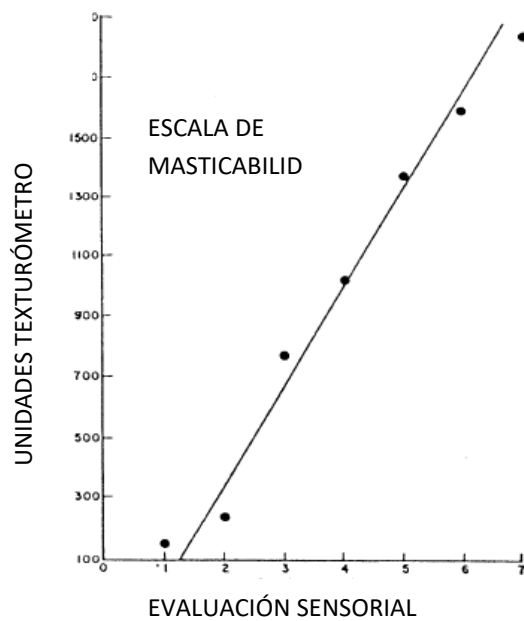
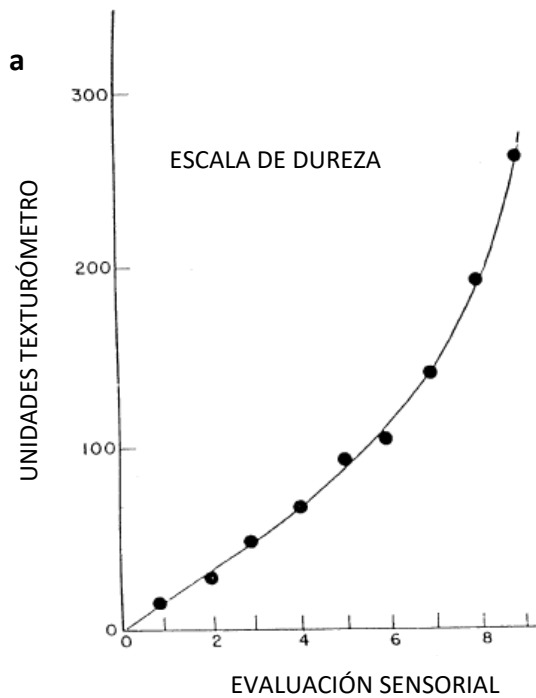
*Propiedades secundarias*

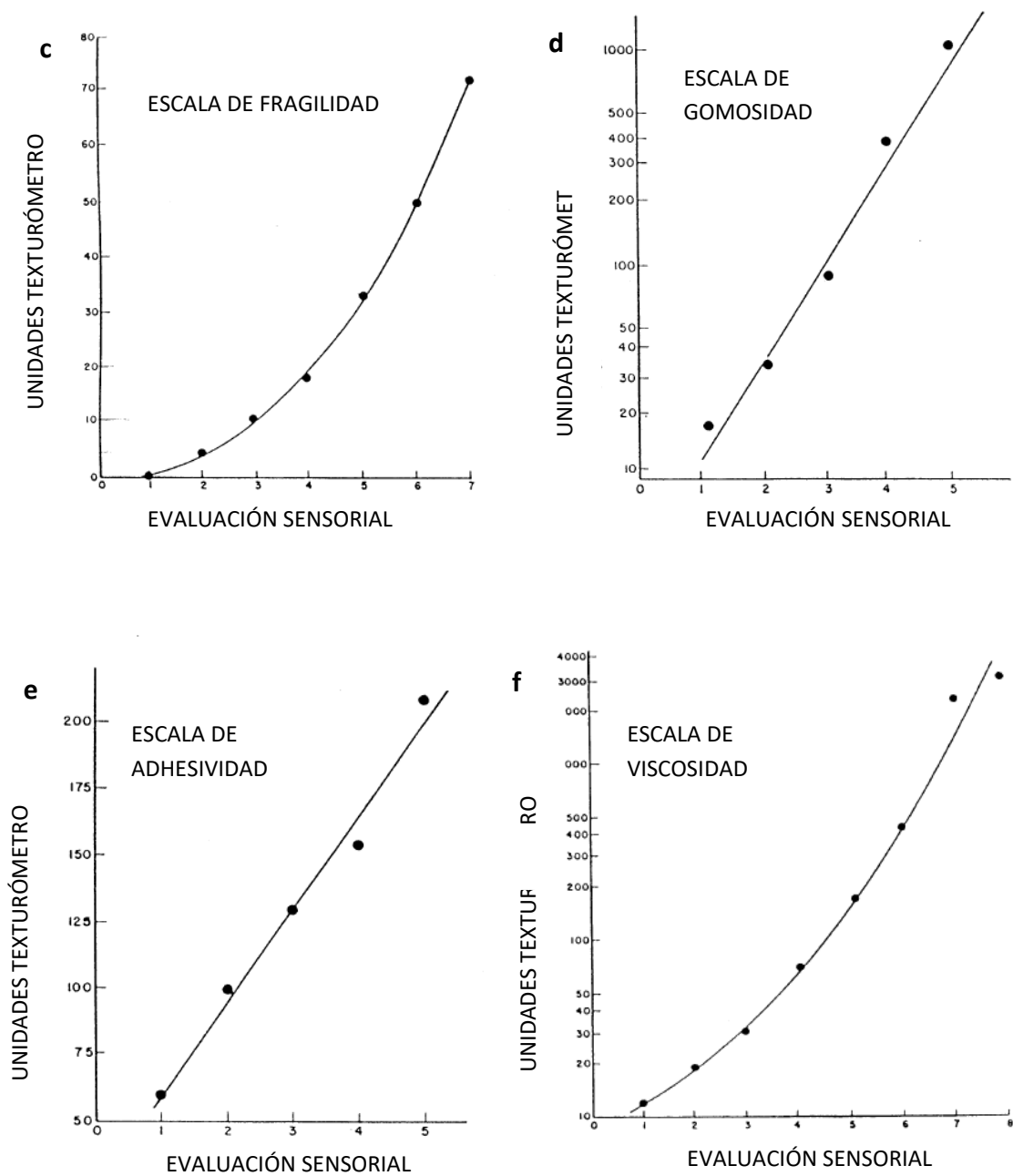
---

|                       |   |  |
|-----------------------|---|--|
| <b>Masticabilidad</b> | Energía necesaria para masticar un alimento sólido a un estado listo para tragar.       | Longitud de tiempo (en seg) requerida para masticar la muestra, a una velocidad constante de aplicación de fuerza, para reducirla a una consistencia adecuada para tragar. |
| <b>Gomosidad</b>      | Energía necesaria para desintegrar un alimento semisólido a un estado listo para tragar | Densidad que persiste durante la masticación; Energía necesaria para desintegrar un alimento semisólido a un estado listo para tragar                                      |

---

FUENTE: Szczesniak (2002)





**Figura 10: Correlación entre los resultados sensoriales con los instrumentales en una escala estándar de textura para las siguientes características: a. dureza, b. masticabilidad, c. fragilidad, d. gomosidad, e. adhesividad y f. viscosidad**

FUENTE: Szczesniak *et al.* (1963)

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN**

La investigación se realizó en una empresa ubicada en Lima y dedicada a la elaboración de productos congelados y en el laboratorio de Investigación e Instrumentación de la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú.

#### **3.2. MATERIA PRIMA**

Se utilizó papa amarilla (*Solanum goniocalyx*) de la variedad Peruanita (PE) y la variedad Amarilla Tumbay (AM) cosechadas en el departamento de Huánuco y proveídas hacia la empresa ubicada en el distrito de San Juan de Miraflores. Las papas llegaron a la empresa ESMERALDA CORP y fueron procesadas al día siguiente de su recepción.

#### **3.3. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS**

Los materiales, equipos y reactivos utilizados se describen a continuación.

##### **3.3.1. MATERIALES**

- Materiales de vidrio: baguetas, bol, placas Petri, probetas, vasos precipitados y campanas desecadoras.
- Otros: coladores de plástico, cucharas, tenedores, magnetos, jeringas, tablas de picar y bolsas de polipropileno, tapers PET de capacidad 250 g, jabs de plástico, peladores de papa manuales de acero inoxidable.



### **3.3.2. EQUIPOS**

- Agitador magnético con control de temperatura (Heidolph<sup>®</sup>, modelo MR-Hci-Tec, Alemania).
- Balanza analítica (Ohaus<sup>®</sup>, modelo Pioneer PA214, Australia).
- Balanza de precisión.
- Baño maría con agitación (GFL<sup>®</sup>, modelo 1083, Alemania).
- Cámara de congelación de convección forzada.
- Cámara de refrigeración.
- Colorímetro (Konica Minolta<sup>®</sup>, modelo CR -410, Japón).
- Moledora/prensadora semi-industrial de acero inoxidable (Torrey<sup>®</sup>, modelo M-22, México).
- Estufa con convección de aire forzada (MMM-Group<sup>®</sup>, modelo Venticell 111, Canadá).
- Potenciómetro digital (Hanna Instruments<sup>®</sup>, modelo HI99161, EE.UU).
- Reómetro híbrido (TA Instruments<sup>®</sup>, modelo DHR3, EE.UU). Utilizo con placa peltier y geometría tipo Plato (SST XHATCH).
- Texturómetro (Instron<sup>®</sup>, modelo 3365, EE.UU). Usado con la celda back-extrusion (S4427A).
- Termocuplas (Data Trace<sup>®</sup>, modelo MP III, EE. UU).
- Tina de escaldado de acero inoxidable.

### **3.3.3. REACTIVOS**

- Ácido cítrico (Frutarom<sup>®</sup>, Perú)
- Agua destilada

## **3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**

### **3.4.1. OBTENCIÓN DEL PRODUCTO: PAPA AMARILLA COCIDA Y PRENSADA**

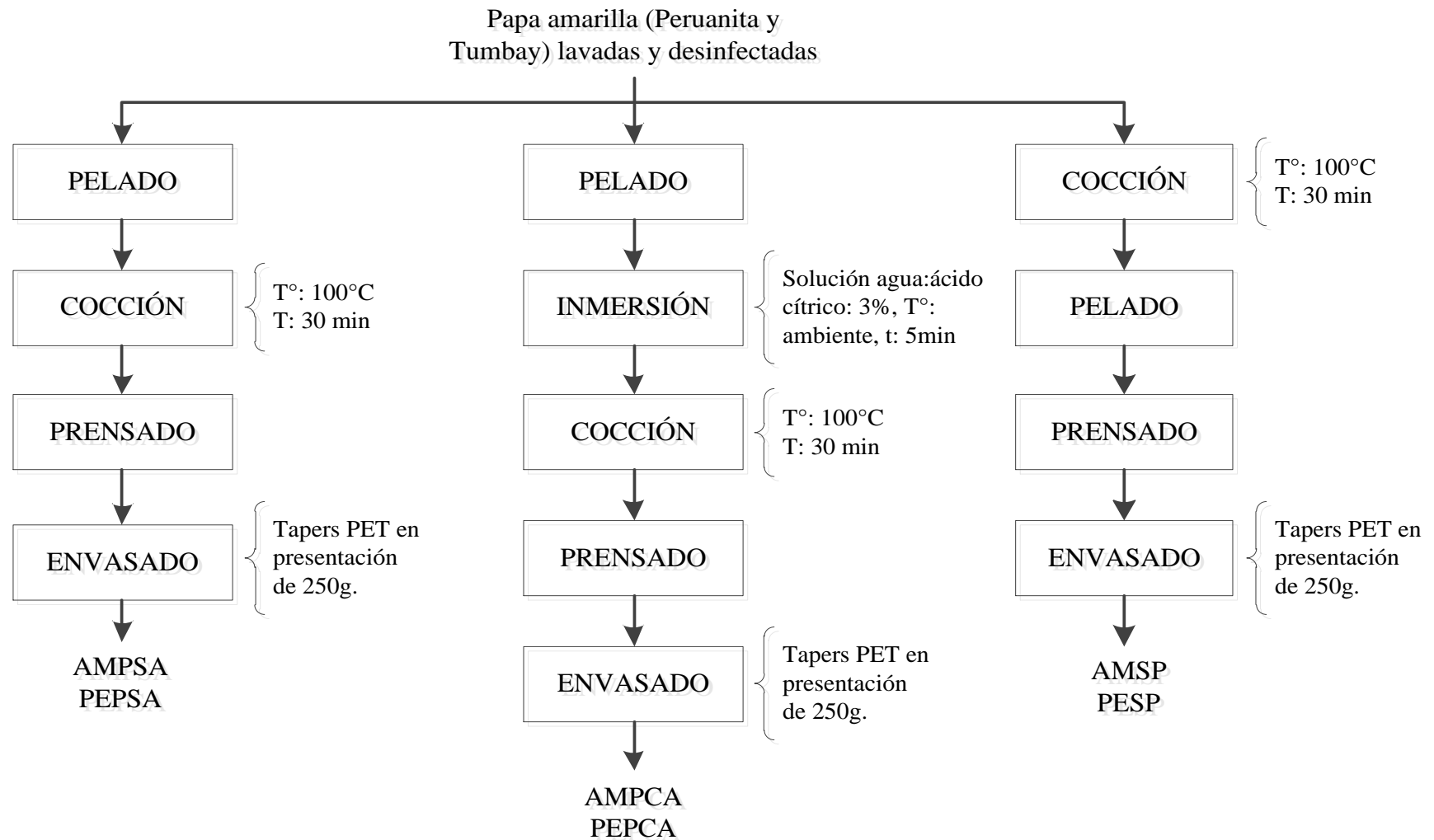
Las papas una vez seleccionadas, lavadas y desinfectadas fueron sometidas a los siguientes tratamientos:

- PSA: papas amarillas peladas, luego cocidas, prensadas y envasadas.
- PCA: papas amarillas peladas, sumergidas en una solución de ácido cítrico al 3 por ciento, bajo una relación de 1:4, a temperatura ambiente por 5 minutos, luego cocidas, prensadas y envasadas.
- SP: papas amarillas cocidas con cáscara, luego peladas, prensadas y envasadas

En la Figura 11, se presenta el flujo de operaciones para la obtención de los tratamientos. Todos los productos fueron envasados en presentaciones de 250 g en envases PET.

A continuación, se describe cada operación desarrollada:

- **Pelado:** Las papas se pelaron con peladores manuales de papa de acero inoxidable si se realizaron antes de la cocción y con cuchillos de acero inoxidable si se realizó después de la cocción. Las cáscaras de desecharon de acuerdo al procedimiento establecido en la empresa.
- **Inmersión:** Se utilizó ácido cítrico (Frutarom®) para la preparación de la solución agua: ácido al 3 por ciento. Las papas que recibieron un tratamiento ácido, se colocaron en la solución ácida por 05 minutos por inmersión en tinas de plástico. Una vez que pasó el tiempo, se escurrieron en escurridores de plástico.
- **Cocción:** Las papas peladas o no, se pusieron en jabs de plástico con peso neto de 2.5kg y se cocieron por separado cada tratamiento en una tina de escaldado de acero inoxidable. La cocción se realizó con agua con temperatura a 100°C y por 30 minutos.
- **Prensado:** Se realizó utilizando una moledora/prensadora semi-industrial de acero inoxidable.
- **Envasado:** La masa de papa se envasó en tapers PET en presentaciones de 250 g y se rotularon con sus respectivos códigos para su posterior análisis.



**Figura 11: Flujo de proceso para la obtención de los tratamientos AMPSA, AMPCA, AMSP, PEPSA, PEPCA y PESP**

Finalmente se obtuvieron seis tratamientos, los cuales tienen la siguiente leyenda:

- **AMSP** : Variedad Amarilla Tumbay, cocida sin pelar
- **AMPCA** : Variedad Amarilla Tumbay, pelada y luego cocida con ácido
- **AMPSA** : Variedad Amarilla Tumbay, pelada y luego cocida sin ácido
- **PESP** : Variedad Peruanita, cocida sin pelar
- **PEPCA** : Variedad Peruanita, pelada y luego cocida con ácido
- **PEPSA** : Variedad Peruanita, pelada y luego cocida sin ácido

### **3.4.2. CONGELACIÓN, ALMACENAMIENTO Y DESCONGELACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS.**

Previo a la congelación se separaron tres unidades de cada tratamiento para su respectivo análisis. Las demás muestras se congelaron en una cámara de congelación de convección forzada a  $-20 \pm 1.6$  °C en donde también se almacenaron por 16 semanas. Cada dos semanas se tomaron muestras, tres unidades de cada tratamiento para su análisis. Las muestras se descongelaron en una cámara de refrigeración a una temperatura de 1°C por un tiempo de 48 horas y luego llevadas a temperatura ambiente.

Una vez descongeladas las muestras se homogenizaron de forma manual utilizando cucharas para realizar los análisis y determinar el pH, color, materia seca, características reológicas y el perfil de textura (TPA).

### **3.5. MÉTODOS DE ANÁLISIS**

Los métodos utilizados para el análisis se describen a continuación según correspondan.

#### **3.5.1. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE CONGELACIÓN, VELOCIDAD DE CONGELACIÓN, TEMPERATURA DE INICIO Y FIN DE CONGELACIÓN**

Para la obtención de las curvas de congelación se usó el método utilizado por Della-Roca *et al.* (2013) utilizándose termocuplas (Data Trace<sup>®</sup>, modelo MP III) llevando los tratamientos

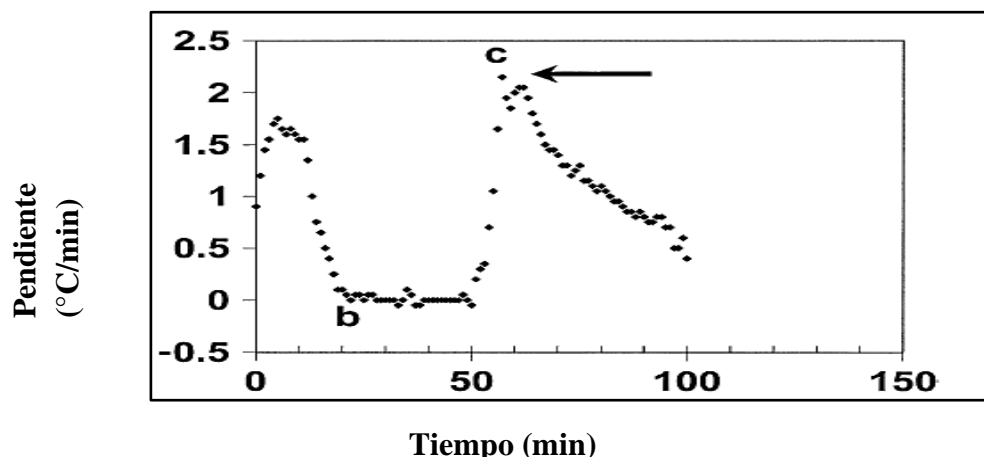
de una temperatura de 20°C hasta una temperatura en el centro geométrico de -15°C. Con este fin los envases PET de 250 g con el producto de papa amarilla cocida y prensada fueron introducidos a una cámara de congelación a -20°C ± 1.6 °C, previamente se colocaron las termocuplas en el centro del producto y permanecieron en la cámara por 48 horas para garantizar su congelación.

Para la determinación del parámetro de velocidad de congelación, se utilizó la Ecuación 5:

$$velocidad\ congelación = \frac{|T_f - T_i|}{t} \quad (5)$$

Donde el tiempo total de la congelación (t) es el tiempo que toman las muestras de ir desde 20°C (Ti) hasta -15°C (Tf).

Para la determinación de los otros parámetros de congelación: temperatura de inicio (Tc) y fin de congelación (Tm) se empleó el método utilizado por Shafiur *et al.* (2002), en donde se realiza una curva entre la pendiente de la velocidad de congelación (°C/min) vs. tiempo (min); siendo la temperatura de inicio de congelación (Tc) el punto donde la velocidad es más lenta, mientras que la temperatura final de congelación (Tm) se determina donde la velocidad es más alta después de iniciar la congelación, como se muestra en la Figura 12.



**Figura 12. Curva de la pendiente de velocidad de congelación vs. tiempo, donde b: inicio de congelación y c: final de la congelación.**

FUENTE: Shafiur *et al.* (2002)

### 3.5.2. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE DESCONGELACIÓN Y VELOCIDAD DE DESCONGELACIÓN

Los envases con el producto de papa amarilla cocida, prensada y congelada fueron descongelados desde una temperatura de  $-15^{\circ}\text{C}$  hasta su descongelación en una cámara a  $1^{\circ}\text{C}$ . Se utilizaron termocuplas (Data Trace<sup>®</sup>, modelo MP III) las cuales se pusieron en el centro geométrico de los envases y permanecieron por 48 horas para garantizar su descongelación. Para el traslado de los envases desde la cámara de congelación hasta la cámara de refrigeración, se emplearon cajas herméticas de *Tecnopor* para evitar pérdida de frío. El tiempo de descongelación es el tiempo que tomaron las muestras en llegar desde  $-15^{\circ}\text{C}$  hasta  $-1.1^{\circ}\text{C}$ , y la velocidad de descongelación se calculó con la Ecuación 5.

### 3.5.3. DETERMINACIÓN DE COLOR

La determinación del color de las muestras, una vez descongeladas y homogenizadas se realizó utilizando un colorímetro de refracción modelo CR-410 (Konica Minolta<sup>®</sup>) en el espacio de color CIE  $L^* a^* b^*$ , que trabaja con un tubo de proyección de luz con vidrio CR-A33e, iluminante D65 y un ángulo visual de  $10^{\circ}$ . La determinación del color se realizó antes de la congelación y durante el almacenamiento en congelación cada dos semanas hasta llegar a las 16 semanas, todo de manera triplicada.

La diferencia de color se determinó según la Ecuación 4:

$$\Delta E^* = [(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2]^{1/2} \quad (6)$$

donde:

$$\Delta a^* = a_{sem0}^* - a_{sem X}^* \quad (7)$$

$$\Delta b^* = b_{sem0}^* - b_{sem X}^* \quad (8)$$

$$\Delta L^* = L_{sem0}^* - L_{sem X}^* \quad (9)$$

sem 0: valores del tratamiento al inicio del almacenamiento en congelación

sem X: valores de la muestra tomados en su respectiva semana de análisis.

Así,  $\Delta E^*$  representa la diferencia de color total entre el tratamiento al inicio del almacenamiento y la muestra tomada después de un tiempo respectivo de almacenamiento. El Índice de Amarillez (YI) se determinó por la Ecuación 8 de acuerdo a Francis y Clydesdale (1975):

$$YI = 142.86 \left( \frac{b_{sem X}^*}{L_{sem X}^*} \right) \quad (10)$$

sem X: valores de la muestra tomados en su respectiva semana de análisis.

Siendo YI el índice de color amarillo del tratamiento en su respectivo tiempo de almacenamiento en congelación

### **3.5.4. DETERMINACIÓN DE pH**

Se determinó el pH en las muestras descongeladas, usando un potenciómetro HI99161 (Hanna Instruments®), el cual fue previamente calibrado con soluciones buffer de pH 5 y 7. La medición se realizó con tres repeticiones y se midió directamente en las muestras - previamente homogenizadas – en el mismo envase. La medición se realizó antes de la congelación y durante el almacenamiento en congelación cada dos semanas hasta llegar a las 16 semanas.

### **3.5.5. DETERMINACIÓN DE MATERIA SECA**

Para la determinación de contenido de materia seca de las muestras ya descongeladas y homogenizadas, se empleó el método de Álvarez *et al.* (2005). Se tomaron 20g y se colocaron en placas Petri hasta su aclimatación a temperatura ambiente. Una vez aclimatadas, se tomaron otros 5g de las mismas y se colocaron en otras placas Petri previamente secadas, enfriadas en campanas desecadoras y pesadas. Las placas Petri con las muestras se colocaron en una estufa de convección forzada modelo Venticell 111 (MMM-Group®) y se secaron a una temperatura de 75°C por 18 horas. La determinación del contenido de materia seca de los tratamientos se realizó antes de la congelación de los tratamientos y luego cada dos semanas por triplicado durante las 16 semanas de almacenamiento, reportándose los resultados en porcentaje de materia seca (% m.s.); calculados según la Ecuación 9:

$$\% m. s. = \frac{W_{muestra\ seca}}{W_{muestra\ fresca}} \times 100 \quad (11)$$

### 3.5.6. PRUEBAS REOLÓGICAS OSCILATORIAS

Se utilizó el reómetro DHR 3 (TA Instruments®) previamente calibrado, utilizando la geometría de tipo platos paralelos de superficie rugosa (SST ST XHATCH) de 40 mm de diámetro, gap de 1 mm con accesorio para minimizar las pérdidas de agua y con un sistema Peltier para mantener la temperatura.

Para realizar este análisis el producto de papa, cocida, prensada y congelada, una vez descongelado fue preparado con adición de agua destilada, homogenizado y calentado según como se muestra en detalle en el ANEXO 1.

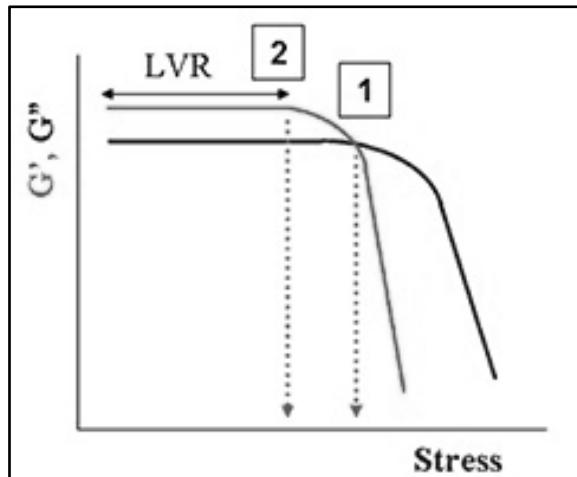
#### a. BARRIDO DE AMPLITUD

Este ensayo se realizó específicamente para determinar la extensión del dominio viscoelástico lineal del producto-de papa. El método utilizado fue el de Canet *et al.* (2005) con algunas modificaciones. Se colocó 2.5ml de muestra con una jeringa. Se trabajó a una temperatura de 55°C y un tiempo de reposo de la muestra por tres minutos. Se utilizó una frecuencia angular constante de 1 rad/s. El rango de esfuerzo que se trabajó fue de 1 a 100 Pa. El barrido de amplitud se realizó antes de realizar el barrido de frecuencia.

Se obtuvo también los valores de *yield stress* o umbral de fluencia de las muestras correspondientes a cada tratamiento, basado en el método de Yoo y Rao (1995) y Canet *et al.* (2005), el cual determinan a partir de la gráfica  $\ln G'$  y  $\ln G''$  vs.  $\ln$  strain (o  $\ln$  stress), siendo el *yield stress* el valor del esfuerzo al ser  $G''$  máximo antes del cruce de los valores de  $G'$  y  $G''$ , como se muestra en la Figura 13.

Una vez determinada el rango del dominio viscoelástico lineal del puré de papa se realizó el barrido de frecuencia para la determinación de las propiedades reológicas viscoelásticas del alimento.





**Figura 13. Ln G' y ln G'' vs. Stress**

FUENTE: AZO MATERIALS (2015).

#### **b. BARRIDO DE FRECUENCIA**

El barrido de frecuencia se realizó utilizando el método de Álvarez *et al.* (2005) con algunas modificaciones. Se colocó 2.5ml de muestra de puré de papa con ayuda de una jeringa. Se trabajó a una temperatura de 55°C y un tiempo de reposo de la muestra por tres minutos. Se utilizó un esfuerzo de 1 Pa. El rango de frecuencia angular que se trabajó fue de 1 a 100 rad/s. El equipo calculó el módulo de almacenamiento ( $G'$ ) y el módulo de pérdida ( $G''$ ) de donde se obtuvieron las gráficas de  $G'$  y  $G''$  versus la frecuencia angular ( $\omega$ ). El equipo también calculó el ángulo de fase ( $\delta^\circ$ ) el que se reportó a una velocidad angular de 1rad/s para todos los tratamientos.

Obtenidas las gráficas de  $G'$  y  $G''$  versus frecuencia angular ( $\omega$ ), se empleó el modelo de la Ley de la Potencia para obtener los índices de comportamiento y las constantes viscoelásticas con las Ecuaciones 12 y 13:

$$G' = k'\omega^{n'} \quad (12)$$

$$G'' = k''\omega^{n''} \quad (13)$$

Los índices de comportamiento ( $n'$  y  $n''$ ), las constantes viscoelásticas ( $k'$  y  $k''$ ) y los ángulos de fase ( $\delta^\circ$ ) fueron determinados cada cuatro semanas para un total de 16 semanas.

### 3.5.7. DETERMINACIÓN DE PERFIL DE TEXTURA (TPA)

Para el análisis de perfil de textura se empleó el método de Fernández *et al.* (2006) y utilizando la celda Back Extrusion que consta de una celda de carga de aluminio inoxidable de 93.5 mm de diámetro que penetra en un vaso de aluminio inoxidable de 102mm de diámetro que conteniendo  $50 \pm 1$ g de muestra de puré de papa (la obtención de la muestra para el análisis de TPA de los tratamientos se muestra en el ANEXO 2). Seleccionamos las siguientes condiciones experimentales para cada ensayo TPA: velocidad de deformación (3 mm/s), nivel de compresión (60%), precarga (10gf) y un periodo de reposo de 5s entre ciclo. Se trabajó a temperatura ambiente.

Se efectuaron 03 repeticiones para cada unidad experimental ensayada y los resultados fueron expresados como media para cada tratamiento. Con la curva generada por el ensayo, los parámetros texturales son automáticamente calculados por el software del texturómetro modelo 3365 (Instron<sup>®</sup>) en base a las fórmulas de Bourne (2002):

- **Dureza (gf)**, es la fuerza máxima en el primer ciclo de compresión. Es dada como el primer pico de fuerza si solo se encuentran dos picos o el segundo pico si hubiera tres picos en la curva TPA.
- **Adhesividad (gf-mm)**, es el área negativa (A3) después de la primera compresión y representa el trabajo negativo necesario para retornar el sensor desde el final de la primera compresión a su posición inicial.
- **Elasticidad (mm)**, es la altura recuperada por la muestra durante el tiempo transcurrido entre el final de la primera compresión y el comienzo de la segunda. Los valores se obtienen directamente de las curvas fuerza-tiempo.
- **Cohesividad (adimensional)**, es calculada como el ratio de las áreas positivas de la primera y segunda compresión. (A2/A1).
- **Gomosidad (gf)**, producto de multiplicar la dureza por la cohesividad.
- **Masticabilidad (gf)**, producto de la gomosidad por elasticidad.

### 3.5.8. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La presente investigación se dividió en dos etapas para un mejor análisis. La primera etapa se refiere al efecto de la congelación inicial en los tratamientos del producto de papa congelado y la segunda etapa es el efecto del almacenamiento en congelación en los tratamientos del producto de papa congelada.

#### a. DISEÑO EXPERIMENTAL

Para evaluar el efecto de la congelación en el producto de papa amarilla cocida y prensada, se empleó un Diseño Factores Categóricos completamente al azar, el cual está formado por tres factores: variedad, pelado y congelación. El factor variedad tiene dos niveles, las cuales son variedad: Amarilla Tumbay (AM) y Peruanita (PE); para el factor pelado se tiene tres niveles: sin pelar (SP), pelado sin ácido (PSA) y pelado con ácido (PCA) y para el factor congelación se tiene dos niveles: sin congelar y congelado-descongelado; dando un total de 12 tratamientos (2x3x2) (Tabla 5).

**Tabla 5: Diseño experimental para la primera etapa de la investigación: Efecto de la congelación en papas cocidas y prensadas**

| VARIEDAD | CONGELADO | PELADO | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 |
|----------|-----------|--------|----|----|----|----|----|
| PE       | SC        | PSA    |    |    |    |    |    |
| PE       | SC        | PCA    |    |    |    |    |    |
| PE       | SC        | SP     |    |    |    |    |    |
| PE       | C/D       | PSA    |    |    |    |    |    |
| PE       | C/D       | PCA    |    |    |    |    |    |
| PE       | C/D       | SP     |    |    |    |    |    |
| AM       | SC        | PSA    |    |    |    |    |    |
| AM       | SC        | PCA    |    |    |    |    |    |
| AM       | SC        | SP     |    |    |    |    |    |
| AM       | C/D       | PSA    |    |    |    |    |    |
| AM       | C/D       | PCA    |    |    |    |    |    |
| AM       | C/D       | SP     |    |    |    |    |    |

Donde:

- X1: pH
- X2: materia seca
- X3: color
- X4: pruebas reológicas oscilatorias
- X5: textura

Para evaluar el efecto del almacenamiento en congelación, del producto de papa amarilla, cocida y prensada, se empleó también un Diseño de Factores Categóricos completamente al azar, el cual está formado por tres factores: variedad, pelado y tiempo (semanas). El factor variedad tuvo dos niveles, las cuales son variedad: Amarilla Tumbay y Peruanita; para el factor pelado se tiene tres niveles: sin pelar (SP), pelado sin ácido (PSA) y pelado con ácido (PCA) y el factor tiempo fue medido en semanas: 0,2,4,6,8,10,12,14,16 dando un total de 54 tratamientos (2x3x9). Respecto al factor tiempo se tuvo tantos niveles como número de muestreos según el análisis correspondiente.

**Tabla 6: Diseño experimental para la segunda etapa de la investigación: Efecto del almacenamiento en congelación en papas cocidas y prensadas**

| VARIEDAD | SEMANA ALM. | PELADO | X1 | X2 | X3 | X4 |
|----------|-------------|--------|----|----|----|----|
| PE y AM  | 0           | PSA    |    |    |    |    |
| PE y AM  | 0           | PCA    |    |    |    |    |
| PE y AM  | 0           | SP     |    |    |    |    |
| PE y AM  | 2           | PSA    |    |    |    |    |
| PE y AM  | 2           | PCA    |    |    |    |    |
| PE y AM  | 2           | SP     |    |    |    |    |
| PE y AM  | 4           | PSA    |    |    |    |    |
| PE y AM  | 4           | PCA    |    |    |    |    |
| PE y AM  | 4           | SP     |    |    |    |    |
| PE y AM  | 6           | PSA    |    |    |    |    |
| PE y AM  | 6           | PCA    |    |    |    |    |
| PE y AM  | 6           | SP     |    |    |    |    |
| PE y AM  | 8           | PSA    |    |    |    |    |
| PE y AM  | 8           | PCA    |    |    |    |    |
| PE y AM  | 8           | SP     |    |    |    |    |
| PE y AM  | 10          | PSA    |    |    |    |    |
| PE y AM  | 10          | PCA    |    |    |    |    |
| PE y AM  | 10          | SP     |    |    |    |    |
| PE y AM  | 12          | PSA    |    |    |    |    |
| PE y AM  | 12          | PCA    |    |    |    |    |
| PE y AM  | 12          | SP     |    |    |    |    |
| PE y AM  | 14          | PSA    |    |    |    |    |
| PE y AM  | 14          | PCA    |    |    |    |    |
| PE y AM  | 14          | SP     |    |    |    |    |
| PE y AM  | 16          | PSA    |    |    |    |    |
| PE y AM  | 16          | PCA    |    |    |    |    |
| PE y AM  | 16          | SP     |    |    |    |    |

Donde

X1: pH

X2: materia seca

X3: color

X4: pruebas reológicas oscilatorias

## **b. ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

El análisis estadístico se realizó empleando el *software Statgraphics® Centurion XVI* 16.01.0003 (Stat Point Inc., Warrenton, VA, USA).

Los resultados obtenidos de las diferentes variables se estudiaron estadísticamente mediante un Análisis de Varianza mediante el diseño de Factores Categóricos con un nivel de significación del 5%.

Luego, al aparecer diferencias significativas entre los tratamientos, en todos los casos se realizó un análisis de diferencias múltiples, utilizándose el contraste de hipótesis de la mínima diferencia significativa (LSD)

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. CARACTERÍSTICAS DE LA MATERIA PRIMA

Para una mayor un mayor análisis del efecto de la congelación y su almacenamiento, se presenta el análisis proximal de la materia prima en la Tabla 7 (En el ANEXO 3 se presenta los resultados de laboratorio).

**Tabla 7: Análisis proximal de papas amarillas de las variedades Amarilla Tumbay y Peruanita**

| <b>Composición</b>                | <b>Amarilla Tumbay</b> | <b>Peruanita</b> |
|-----------------------------------|------------------------|------------------|
| <b>Energía (kcal)</b>             | 96.4                   | 115.6            |
| <b>Agua* (g)</b>                  | 74.9                   | 70.2             |
| <b>Proteína* (g)</b>              | 2.5                    | 2.6              |
| <b>Grasa total* (g)</b>           | 0.0                    | 0.0              |
| <b>Carbohidratos totales* (g)</b> | 21.6                   | 26.3             |
| <b>Cenizas* (g)</b>               | 1.0                    | 0.9              |
| <b>Hierro (mg/kg)</b>             | 9.3                    | 8.9              |
| <b>Ácido clorogénico (mg/kg)</b>  | 130                    | 110              |

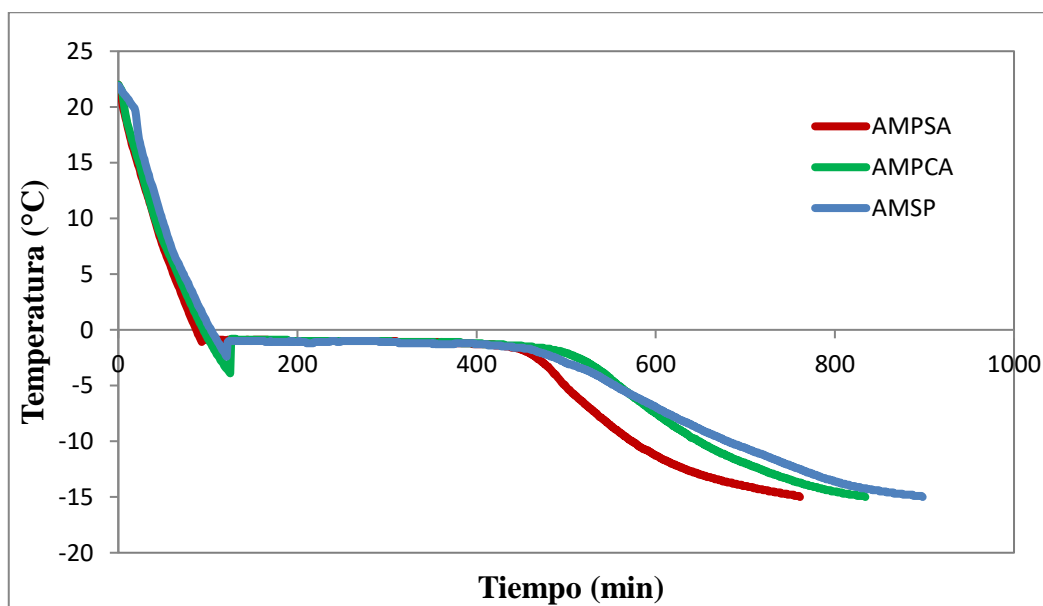
\*Composición en 100g de alimento

El contenido de humedad – por ende, el contenido de materia seca – de este tipo de alimentos puede influir en la textura final del derivado que se quiera obtener. Este efecto fue reportado Fernández *et. al.* (2008) y Chen *et. al.* (2013) quienes encontraron una relación directamente proporcional entre la dureza y el contenido de materia seca al estudiar la adición de polímeros en masas de papas frescas y congeladas-descongeladas. Los resultados obtenidos en la caracterización de las variedades de papas estudiadas indican que la variedad Peruanita al tener un mayor contenido de materia seca podría presentar una mayor dureza que su contraparte Amarilla Tumbay en todos los tratamientos realizados.

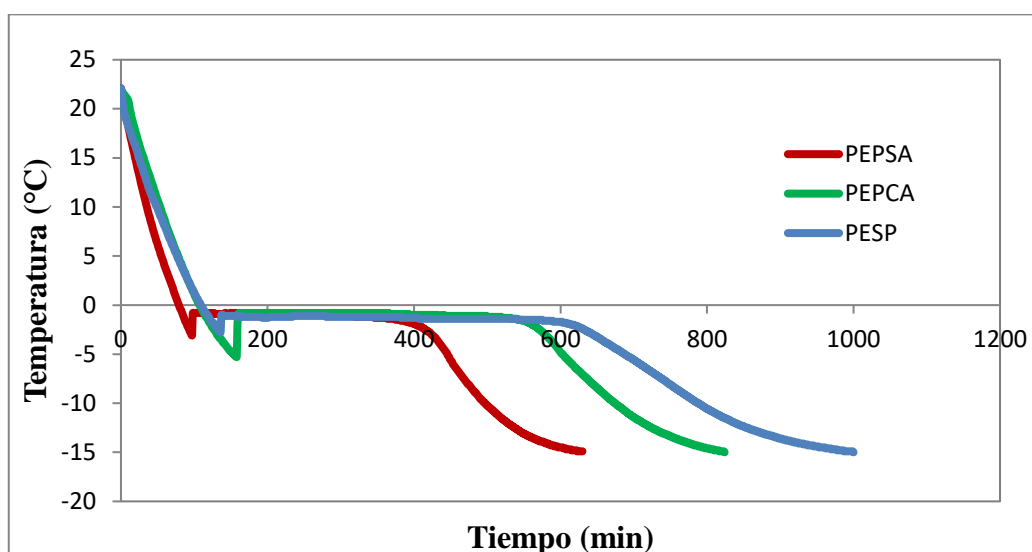
Además, se hizo la determinación del contenido de hierro y ácido clorogénico en la caracterización de la papa amarilla debido a los estudios realizados por Friedman (1984, 1997) y Wang-Pruski y Nowak (2004) quienes encontraron que se origina un pardeamiento no enzimático en las papas por una reacción del ácido clorogénico con el hierro del mismo tubérculo afectando en los productos derivados que se quiera realizar con este alimento. Por tal motivo, tras hacer el análisis de ácido clorogénico y de hierro, se obtuvo que la variedad Amarilla Tumbay presenta una mayor cantidad de ácido clorogénico (130 mg/kg) y de hierro (9.3 mg/kg) pudiendo así presentar colores con tonalidades más oscuras en los tratamientos posteriores a realizar que la variedad Peruanita por la reacción no enzimática antes mencionada.

#### 4.2. PARAMETROS DE LA CONGELACIÓN

A continuación, se presentan las curvas de congelación obtenidas en las Figuras 14 y Figura 15 desde una temperatura de 20°C hasta una temperatura final de -15°C, por motivo de la temperatura de la cámara de congelación pues, aunque con el tiempo llegará a una temperatura de equilibrio menor, a partir de -15°C la gradiente de temperatura respecto al tiempo disminuye considerablemente.



**Figura 14: Curvas de congelación de los tratamientos AMPSA, AMPCA y AMSP**



**Figura 15: Curvas de congelación de los tratamientos PEPSA, PEPCA y PESP**

Una vez obtenidos las curvas de congelación de todos los tratamientos, se procedió a analizar los datos y se determinaron los parámetros de la congelación. Se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 8 (los gráficos para la determinación de  $T_c$  y  $T_m$  están en el ANEXO 4).

**Tabla 8: Valores obtenidos de Tiempo de congelación, temperatura de inicio de congelación ( $T_c$ ), Temperatura de fin de congelación ( $T_m$ ) y la velocidad de congelación ( $\Delta^\circ\text{C}/\text{h}$ )**

| Tratamiento | Tiempo*<br>(horas) | $T_c^{**}$       | $T_m^{**}$     | $\Delta^\circ\text{C}/\text{h}^{***}$ |
|-------------|--------------------|------------------|----------------|---------------------------------------|
| AMPSA       | 12.7               | $-0.83 \pm 0.1$  | $-4.4 \pm 0.2$ | 2.9                                   |
| AMPCA       | 13.9               | $-0.87 \pm 0.1$  | $-4.2 \pm 0.1$ | 2.7                                   |
| AMSP        | 15                 | $-1.05 \pm 0.05$ | $-5.1 \pm 0.1$ | 2.5                                   |
| PEPSA       | 10.5               | $-0.80 \pm 0.1$  | $-5.2 \pm 0.2$ | 3.5                                   |
| PEPCA       | 13.7               | $-0.85 \pm 0.1$  | $-4.0 \pm 0.1$ | 2.7                                   |
| PESP        | 16.7               | $-1.05 \pm 0.0$  | $-8.2 \pm 0.1$ | 2.2                                   |

\* Desde  $20^\circ\text{C}$  hasta  $-15^\circ\text{C}$ .

\*\* Método según Shafiur *et al.* (2002).

\*\*\* Cociente de dividir la diferencia de  $T_i$  con  $T_f$  sobre el tiempo de congelación.



Como se observa en el Tabla 8, los tratamientos que tomaron más tiempo y tuvieron una menor velocidad de congelación para llegar de una temperatura de 20°C hasta una temperatura a -15°C fueron los tratamientos AMSP y PESP con valores de 15.0 y 16.7 horas respectivamente; mientras que los tratamientos AMPSA y PEPSA fueron los que más rápido congelaron con valores de 12.7 y 10.5 horas respectivamente.

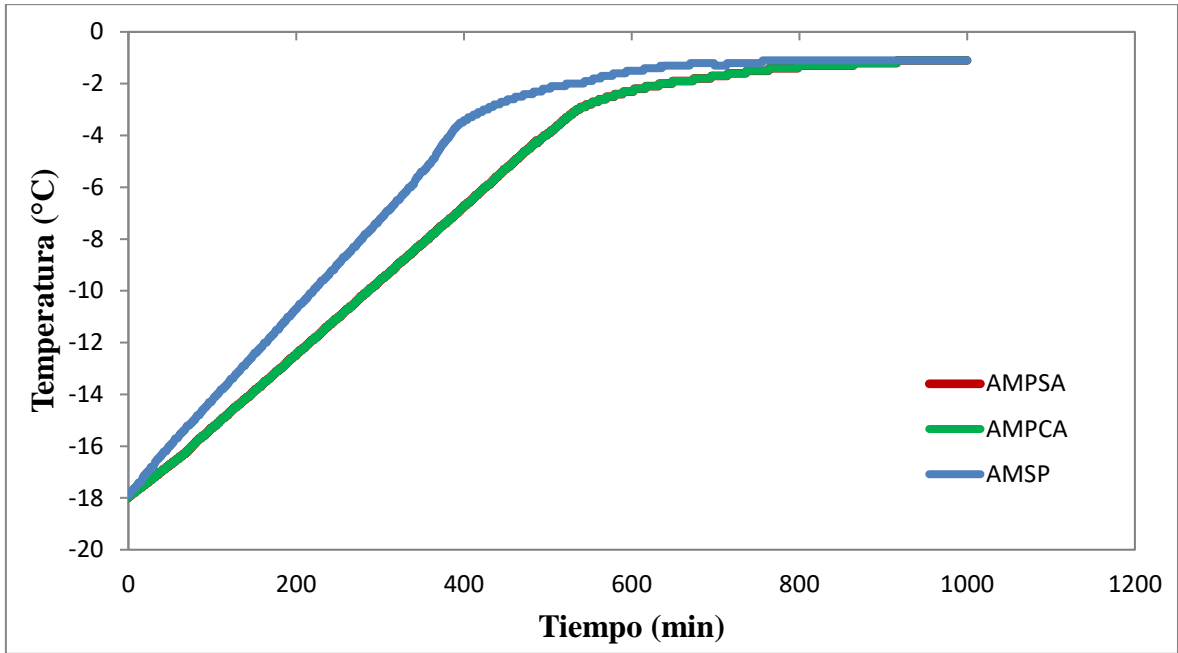
En cuanto a la temperatura de inicio de congelación ( $T_c$ ) al realizar el análisis ANOVA (ANEXO 5) se encontró que el factor pelado afecta significativamente los resultados, mientras que el factor variedad no. El valor de  $T_c$  para los tratamientos de AMSP y PESP fue de -1.05°C, significativamente menor ( $p < 0.05$ ) que el  $T_c$  de los tratamientos pelados. Los valores de  $T_m$  presentaron diferencias significativas con respecto a la variedad y al pelado, donde el tratamiento PESP presentó el menor valor (-8.2°C). Shafiur *et al.* (2002) encontró una relación inversamente proporcional entre el contenido de sólidos en el alimento y su temperatura de inicio de congelación.

El valor de  $T_c$  fue mayor a lo obtenido por Della-Rocca (2013) de -1.27°C para papa cruda (*Solanum tuberosum L.*). Ésta diferencia entre el valor  $T_c$  encontrado y el de literatura se puede deber a que el producto que se está investigando ha sufrido una cocción y por tanto el almidón ha sido gelatinizado, lo que influye en la difusividad térmica y por lo tanto en la velocidad de congelación.

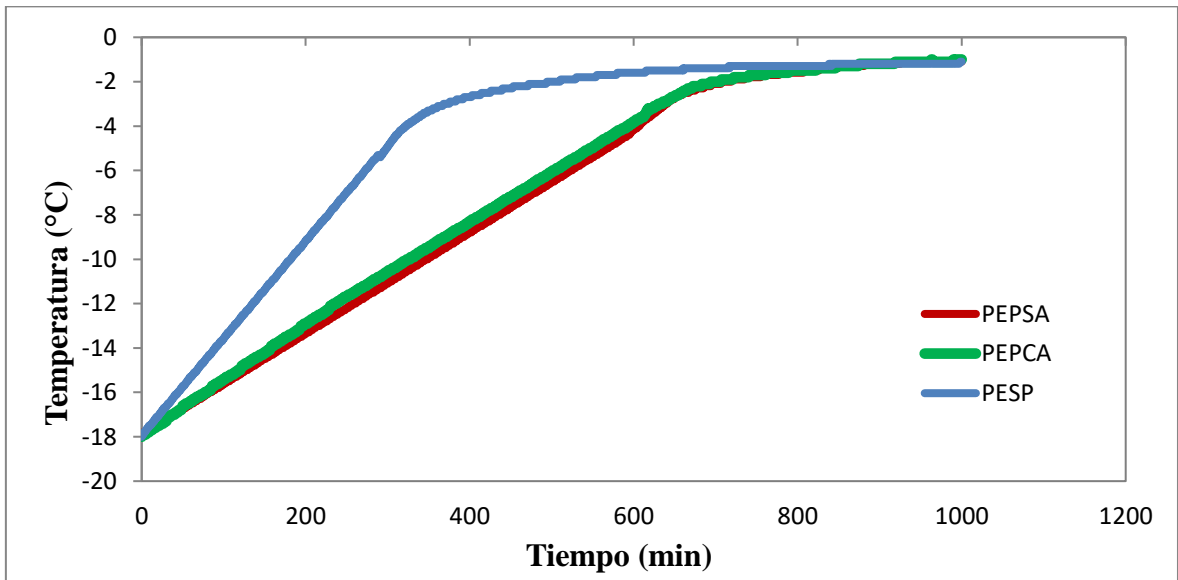
#### **4.3. PARÁMETROS DE DESCONGELACIÓN**

Las curvas de descongelación obtenidas se presentan en las Figuras 16 y 17.

Una vez obtenidas las curvas, se procedió a determinar el tiempo de descongelación y la velocidad de descongelación para una temperatura inicial de -18°C hasta una temperatura final de -1.1°C (inicio de un periodo de temperatura constante o pendiente muy lenta), los cuales se presentan en la Tabla 9.



**Figura 16: Curvas de descongelación de los tratamientos AMPSA, AMPCA y AMSP**



**Figura 17: Curvas de descongelación de los tratamientos PEPSA, PEPCA y PESP**

**Tabla 9: Valores de obtenidos de Tiempo de descongelación y la velocidad de descongelación ( $\Delta^{\circ}\text{C}/\text{h}$ )**

| <b>Tratamiento</b> | <b>Tiempo (horas)</b> | <b><math>\Delta^{\circ}\text{C}/\text{h}</math></b> |
|--------------------|-----------------------|---|
| <b>AMPSA</b>       | 12.3                  | 1.4   |
| <b>AMPCA</b>       | 12.1                  | 1.4   |
| <b>AMSP</b>        | 10.3                  | 1.7   |
| <b>PEPSA</b>       | 13.5                  | 1.3   |
| <b>PEPCA</b>       | 13.2                  | 1.3   |
| <b>PESP</b>        | 10.3                  | 1.7   |

A diferencia de las velocidades de congelación obtenidos en el ítem anterior, la velocidad de descongelación de los tratamientos es mucho menor. Esto se debe a que cuando un alimento se ha descongelado, el hielo superficial se funde formando una capa de agua líquida, cuyas propiedades térmicas son inferiores a las del agua en estado sólido. En consecuencia, se desacelera la velocidad con que se transfiere calor hacia el interior del alimento, aumentando este efecto aislante en la medida que la capa de alimento descongelado se incrementa (Umaña 2011). Es por ello que la descongelación de un alimento es más lenta que su congelación.

Como se observa, los tratamientos que obtuvieron una mayor velocidad de descongelación fueron, en general los tratamientos AMSP y PESP. Icier *et al.* (2016) quienes trabajaron las diferentes maneras de descongelación de cubos de papas cocidas, reportaron que estos tuvieron un mayor tiempo de descongelación a diferencia de las que no fueron cocidas. Además, Fernández *et al.* (2006) encontraron que la cocción de las papas disminuye el contenido de materia seca del alimento al compararlas con las que no fueron cocidas. Por tanto, es posible que los tratamientos sin pelar presenten mayor velocidad de descongelación debido a su contenido de materia seca mayor a la de los tratamientos donde las papas se cocieron peladas.

En general, el rango de tiempo que los tratamientos requieren para llegar desde  $-15^{\circ}\text{C}$  a una temperatura de  $-1.1^{\circ}\text{C}$  está entre 10.5 – 16.7 horas.

#### 4.4. EVALUACION DEL EFECTO DE LA CONGELACION

##### 4.4.1. COLOR

Los resultados de análisis de color instrumental se expresan en los valores de L\*, b\* y a\*, los cuales representan la luminosidad de la muestra (de negro a blanco), el eje de color azul amarillo y el eje de color verde-rojo, respectivamente. Los resultados se reportaron en valores de L\*, b\*, a\*, Índice de Amarillez (YI) y el cambio total del color ( $\Delta E^*$ ) los cuales se muestran en la Tabla 9. El análisis ANOVA y LSD se presentan el ANEXO 6.

Los resultados obtenidos de los valores de L\* en las muestras sin congelar y congeladas/descongeladas, se muestran en la Tabla 10.

En las muestras sin congelar, se observa que los valores de luminosidad de los tratamientos AMPSA, AMPCA, PEPSA y PEPCA no tuvieron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) con valores de 73.8 – 74.0 para ambas variedades. Sin embargo, estos mismos tienen una luminosidad significativamente mayor al compararlos con las papas de su misma variedad que pasaron por el tratamiento sin pelar (AMSP y PEPS) con valores promedio de 67.0 y 69.5 para la variedad Peruanita y Amarilla Tumbay respectivamente.

**Tabla 10. Medidas de color de los tratamientos SC y C/D**

| Tratamiento |     | L*           | b*           | a*           | YI           | $\Delta E^*$ |
|-------------|-----|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| AMPSA       | SC  | 74.0 ± 0.1 a | 50.3 ± 1.2 a | 3.2 ± 0.1 a  | 97.2 ± 0.7a  | 2.2 ± 0.3    |
|             | C/D | 71.8 ± 0.3 b | 47.9 ± 0.4 b | 3.5 ± 0.2 b  | 95.3 ± 1.0b  |              |
| AMPCA       | SC  | 73.8 ± 0.2 a | 50.9 ± 0.4 a | 3.7 ± 0.1 a  | 98.5 ± 1.0a  | 2.5 ± 0.5    |
|             | C/D | 71.3 ± 0.3 b | 50.8 ± 0.4 a | 3.7 ± 0.1 a  | 101.8 ± 0.4b |              |
| AMSP        | SC  | 70.3 ± 0.4 a | 48.9 ± 0.2 a | 3.5 ± 0.1 a  | 99.3 ± 0.8a  | 0.8 ± 0.4    |
|             | C/D | 69.5 ± 0.1 b | 46.1 ± 0.2 b | 2.3 ± 0.0 b  | 94.8 ± 0.5b  |              |
| PEPSA       | SC  | 75.9 ± 0.6 a | 50.5 ± 0.2 a | -3.4 ± 0.1 a | 95.0 ± 0.4a  | 1.5 ± 0.7    |
|             | C/D | 74.4 ± 0.6 b | 49.7 ± 0.5 b | -3.1 ± 0.1 b | 95.5 ± 0.2a  |              |

<<continuación>>

|              |            |              |              |              |             |           |
|--------------|------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-----------|
| <b>PEPCA</b> | <b>SC</b>  | 75.9 ± 0.7 a | 50.0 ± 0.0 a | -3.3 ± 0.1 a | 94.1 ± 0.9a |           |
|              | <b>C/D</b> | 74.1 ± 0.4 b | 49.0 ± 1.1 a | -3.0 ± 0.2 a | 94.5 ± 1.3a | 1.7 ± 1.1 |
| <b>PESP</b>  | <b>SC</b>  | 67.0 ± 0.0 a | 42.5 ± 0.2 a | -0.9 ± 0.0 a | 90.7 ± 0.5a |           |
|              | <b>C/D</b> | 64.4 ± 0.2 b | 41.5 ± 1.0 a | -2.2 ± 0.1 b | 92.1 ± 0.8b | 2.6 ± 0.2 |

Promedio ± DS; letras diferentes dentro de una columna indican diferencias significativas  $p < 0.05$

\*\*SC: sin congelar, C/D: congelado/descongelado

Ésta diferencia de valores  $L^*$  entre los tratamientos AMPCA, PEPCA con sus homólogos AMPSA, PEPSA y los tratamientos AMSP, PESP es causado principalmente por el factor pelado al momento de cocer las papas. Las papas al ser cocidas sin cáscara en agua caliente, presentan una mayor lixiviación de compuestos de la papa y un aumento de moléculas de agua entre las células del tubérculo causando un aumento de luminosidad en el alimento (Pala 1983, Canet y Hill 1987). A pesar de que el color es frecuentemente el parámetro por el cual los consumidores juzgan un alimento antes de comprarlo, esta diferencia no sería de mayor importancia si quisiéramos producir alimentos frescos pues es poco probable que el consumidor tenga a la mano los productos que pasaron por los tratamientos PSA/PCA y compararlos con los SP (Faulks y Griffiths 1983, Fernández *et al.* 2006).

Otro factor que pudo influenciar en la luminosidad de los tratamientos PESP y AMSP es el oscurecimiento después de la cocción (ACD, por sus siglas en inglés) que ocurre en las papas sancochadas. El ACD es un tipo de pardeamiento no enzimático que ocurre al reaccionar ácido clorogénico y el hierro formándose el compuesto ácido ferri-diclorogénico de color oscuro (Hughes y Evans, 1967). El ácido clorogénico es el polifenol secundario con más metabolitos en los tubérculos de papa, llegando hasta un 90% del total, estando localizado más del 50% del ácido clorogénico en la cáscara de la papa (Fridman 1984, Friedman 1997, Wang-Pruski y Nowak 2004). Por esta razón, las papas que no fueron cocidas con cáscara presentaron un menor ACD, a diferencia de las que sí.

Por otra parte, se encontró una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) con disminución de valores de  $L^*$  entre el producto antes de la congelación y después de la congelación. Éste mismo fenómeno fue reportado por Álvarez *et al.* (2005) quienes trabajaron en purés de papa, y por Fernández *et al.* (2006) quienes trabajaron en purés cocinados y con un escaldado previo y

con adición de almidón de maíz. Esta pérdida de luminosidad de los tratamientos después de ser congelados, se debe al secado que sufre el alimento al ser congelado, haciendo que se pierda agua y se concentren los sólidos, incluyendo los pigmentos y disminuyendo el valor de L\*.

El valor de Índice de amarillez (YI) encontrado no presenta diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) con respecto al producto antes y después de la congelación; sin embargo, este sí es afectado significativamente por la variedad y el tratamiento aplicado en la cocción. Al respecto Fernández *et al.* (2008) mencionan que el YI indica la intensidad del color amarillo del alimento estudiado y se puede considerar como una característica de color en papas y sus productos.

Se observa que en los tratamientos PESP y PEPCA, después de ser congelados/descongelados hubo un aumento del YI. Esto se debe a que la disminución de los valores b\* (tonalidad amarilla) fueron menores que la disminución de L\* obteniéndose ratios b\*/L\* mayores. Bajo éste mismo punto, La disminución de YI fue mayor en los tratamientos SP, indicando que la pérdida de tonalidad amarilla es superior a la de la luminosidad en estos tratamientos. Aunque no existan investigaciones relacionadas con los tratamientos trabajados en la presente investigación, Fernández *et al.* (2008) investigaron los valores de YI en puré de papas con adición de biopolímeros y reportaron valores muy por debajo de los obtenidos, siendo la principal diferencia la materia prima empleada en este caso papa amarilla (*Solanum goniocalyx*), mientras ellos trabajaron con papa variedad Kennebec (*Solanum tuberosum*) y además con la adición de leche, mantequilla y sal probablemente influyendo para que los valores de YI sean menores ( $27.95 \pm 0.33$ ).

Por otra parte, se calculó también la diferencia total de color ( $\Delta E^*$ ) entre los tratamientos sin congelar y sus homólogos congelados/descongelados para ver el efecto de la congelación de manera global. La diferencia total de color indica el cambio total de color que sufrió el alimento tras ser afectado por ciertos factores que se puede usar como referencia para saber si el cambio que sufrió el alimento es apreciable a simple vista, y en este mismo concepto, Limbo y Piergiovanni (2006) informaron que, en papas, valores de  $\Delta E^*$  por encima de tres representan el pardeamiento que es perceptible para los seres humanos, mientras que valores  $\Delta E^*$  superiores a seis indican una fuerte diferencia de color. En los resultados obtenidos, en todos los tratamientos los valores de  $\Delta E^*$  fueron menores a 3, indicando cambios no

perceptibles a simple vista, haciéndolos aptos para una futura venta de productos iguales congelados con corta vida útil.

#### 4.4.2. pH

En la Tabla 11 se muestran los valores de pH determinados para las muestras de los tratamientos sin congelar y congelados. El análisis ANOVA y LSD se muestran en el ANEXO 7. Los valores de pH en los tres tratamientos sin congelar están entre los rangos 6.16 - 6.27 y 6.28 – 6.29 para la variedad Peruanita y Amarilla Tumbay respectivamente, y para las congeladas/descongeladas en un rango entre 6.23 – 6.35 y 6.26 – 6.29 para la variedad Peruanita y Amarilla Tumbay respectivamente. También se observa que las papas que pasaron por el tratamiento PSA obtuvieron mayores valores de pH, seguidos de los tratamientos SP y finalmente, las papas que pasaron por el tratamiento ácido, teniendo la relación PSA>SP>PCA según su respectiva variedad, y se mantiene la misma relación en sus contrapartes congeladas/descongeladas.

**Tabla 11. Valores de pH de los tratamientos SC y C/D**

| Tratamiento |     | pH            |
|-------------|-----|---------------|
| AMPSA       | SC  | 6.29 ± 0.01 a |
|             | C/D | 6.33 ± 0.03 b |
| AMPCA       | SC  | 6.26 ± 0.01 a |
|             | C/D | 6.40 ± 0.01 b |
| AMSP        | SC  | 6.27 ± 0.01 a |
|             | C/D | 6.33 ± 0.03 b |
| PEPSA       | SC  | 6.27 ± 0.01 a |
|             | C/D | 6.36 ± 0.02 b |
| PEPCA       | SC  | 6.16 ± 0.01 a |
|             | C/D | 6.26 ± 0.03 b |
| PESP        | SC  | 6.17 ± 0.01 a |
|             | C/D | 6.24 ± 0.02 b |

Promedio de tres repeticiones  $\pm$  DS; letras diferentes  
dentro de una columna indican diferencias significativas  
 $p < 0.05$   
\*SC: sin congelar, C/D: congelado/descongelado

Respecto al efecto de la congelación sobre los tratamientos, el análisis de varianza indica que la congelación sí tuvo un efecto significativo ( $p < 0.05$ ) en los valores de pH de la papa cocida y prensada al ser congelado/descongelado. Así mismo al realizar el análisis de múltiples rangos LSD y comparar los valores de pH de los tratamientos sin congelar con sus contrapartes congeladas/descongeladas, se encontró que los valores de pH en todos los tratamientos sin congelar aumentaron de manera significativa.

No existen investigaciones que reporten valores de pH para productos iguales con otras variedades de papa; sin embargo, se podría utilizar como referencia los valores de pH obtenidos por Fernández (2008) para purés de papa propiamente dichos (masa de papa con leche, sal y mantequilla) los cuales están para productos sin congelar en un rango entre 6.05 y 6.10 y para el mismo producto congelado-descongelado un ligero aumento con valores de pH entre 6.16 – 6.18 (Fernández *et al.* 2009). Sin embargo, a pesar de la diferencia en la preparación del producto los valores están bastante cercanos y se cumple que después de la congelación se presenta un incremento del pH.

Éste aumento de los valores de pH se debe a que durante el proceso de congelación, el agua se convierte en cristales de hielo con un alto grado de pureza, dando lugar a una solución concentrada de sales, minerales y otras sustancias; además de que los núcleos de cristales de hielo formados en el interior del alimento van a ser pocos y éstos van a crecer congelando así más agua, llegando al punto de crecer tanto que empiezan a cizallar las paredes celulares liberando líquidos intracelulares que se mezclan con el líquido extracelular al descongelarse el producto formando un líquido concentrado (Deshpande *et al.* 1984, Silva *et al.* 2008). Aunque el aumento fue significativo para todos los tratamientos, en el caso de AMPSA y PEPSA tras ser congelados/descongelados fueron los que mantuvieron más el pH al compararlos con sus homólogos sin congelar, haciéndolos los más aptos para salir al mercado si sólo evaluáramos esta característica.



Además, se observa también que los valores de pH para ambas variedades fueron mayores en los tratamientos PSA, seguido de los tratamientos SP y finalmente, con los menores valores de pH, los tratamientos PCA; y que ésta misma relación (PSA>SP≥PCA) se mantuvo tras ser congelado, confirmando que el efecto de la congelación fue el mismo en todos los tratamientos.

#### 4.4.3. MATERIA SECA

Los valores obtenidos del contenido de materia seca se reportan en la Tabla 12 como % materia seca en b.h. tanto para los tratamientos sin congelar y los congelados/descongelados, y el análisis ANOVA y LSD en el ANEXO 8.

Se observa que el porcentaje de materia seca para las papas cocidas y prensadas en los tres tratamientos sin congelar están entre los rangos 24.6 – 31.4 % y 24.6 – 29.3% para la variedad peruanita y amarilla respectivamente; mientras que para sus contrapartes congelados/descongelados se encontraron valores entre 25 – 31.7 % y 25 – 29.8% para la variedad peruanita y amarilla respectivamente. Además, los valores del contenido de materia seca de los tratamientos sin congelar son mayores para los tratamientos SP, seguidos de los tratamientos PCA, y con los menores valores para los tratamientos PSA (SP>PCA>PSA), teniendo la misma relación en ambas variedades y en sus contrapartes congeladas.

**Tabla 12: Valores de materia seca (%) en los tratamientos SC y C/D**

| <b>Tratamiento</b> |            | <b>% materia seca</b> |
|--------------------|------------|-----------------------|
| <b>AMPSA</b>       | <b>SC</b>  | 24.6 ± 0.1 a          |
|                    | <b>C/D</b> | 25.0 ± 0.7 a          |
| <b>AMPCA</b>       | <b>SC</b>  | 25.6 ± 0.5 a          |
|                    | <b>C/D</b> | 26.8 ± 0.6 b          |
| <b>AMSP</b>        | <b>SC</b>  | 29.3 ± 0.4 a          |
|                    | <b>C/D</b> | 29.8 ± 0.6 a          |
| <b>PEPSA</b>       | <b>SC</b>  | 24.6 ± 0.2 a          |
|                    | <b>C/D</b> | 25.0 ± 0.3 a          |
| <b>PEPCA</b>       | <b>SC</b>  | 25.9 ± 0.7 a          |
|                    | <b>C/D</b> | 26.5 ± 1.3 a          |

<<continuación>>

|             |            |              |
|-------------|------------|--------------|
| <b>PESP</b> | <b>SC</b>  | 31.4 ± 0.6 a |
|             | <b>C/D</b> | 31.7 ± 0.7 a |

Promedio de tres repeticiones ± DS; letras diferentes dentro de una columna indican diferencias significativas  $p < 0.05$

\*SC: sin congelar, C/D: congelado/descongelado

Existen estudios de puré de papa (con leche, sal y mantequilla) de la variedad Kennebec, los cuales tienen un contenido de materia seca en un rango entre 14.78 y 19.51 % y 15.31 – 20.48 % para sus contrapartes congelado-descongelado (Álvarez *et al.* 2005, Fernández *et al.* 2006). La diferencia entre los valores reportados por investigaciones previas con los obtenidos es, en primera instancia, que se utilizó una variedad diferente de papa, siendo la nuestra las variedades peruanita y amarilla quienes tienen un contenido más alto de materia seca, haciendo que el producto final también contenga un contenido mayor de materia seca (MINSA 2009, Obregón y Repo 2013). También la diferencia es causada porque el producto estudiado es puré de papa cocida y prensada, sin añadir ningún tipo de ingrediente, el cual es muy diferente al producto mencionado anteriormente, a pesar de lo cual se cumple que existe un aumento de la materia seca en el producto después de la congelación.

El análisis de varianza encontró diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos antes de la congelación y después de la congelación, así como entre las variedades y entre los tratamientos de cocción, siendo esta última altamente significativa (LSD) con respecto al tratamiento de cocción realizado sin pelar, tratamiento que presentó el mayor valor de materia seca en el producto antes y después de la congelación.

Se sabe que el escaldado aumenta la permeabilidad de las membranas citoplasmáticas, permitiendo que el agua caliente penetre las células y los espacios intercelulares, expulsando gases y otros compuestos volátiles (Canet y Hill 1987), causando pérdidas de sustancias solubles tales como vitaminas, sales y azúcares, Y aumentando el contenido de humedad de las muestras. Éste fenómeno explica el porqué de la relación  $SP > PCA \geq PSA$ . Quitar la cáscara de las papas antes de la cocción hace que la lixiviación de las sustancias solubles del alimento sea aún mayor, causando que la humedad aumente más, como sucedió en el caso de las papas que pasaron por el tratamiento PSA; mientras que, el tratamiento ácido (PCA) hizo que en las papas cocidas y prensadas aumente su contenido de materia seca inicial y

tras ser cocidas sin cáscara también hayan perdido sustancias solubles, teniendo valores menores que las SP, pero mayores que los tratamientos PSA.

En general, el porcentaje de materia seca en los tratamientos sin congelar son menores que sus contrapartes congeladas-descongeladas, confirmándose investigaciones anteriores (Álvarez *et al.* 2005, Fernández *et al.* 2006). Éste aumento del porcentaje de la materia seca en los tratamientos tras ser congelados/descongelados, puede ser atribuido al crecimiento del cristal de hielo, que conduce a la contracción y a la ruptura de los gránulos de almidón, y que la ruptura de la pared celular conduce a una redistribución de amilosa y amilopectina conduciendo a diferencias de concentración locales; además, la amilopectina concentrada localmente es propensa a la agregación molecular que conduce a la retracción y expulsión de agua (Kim y Eliasson, 1993).

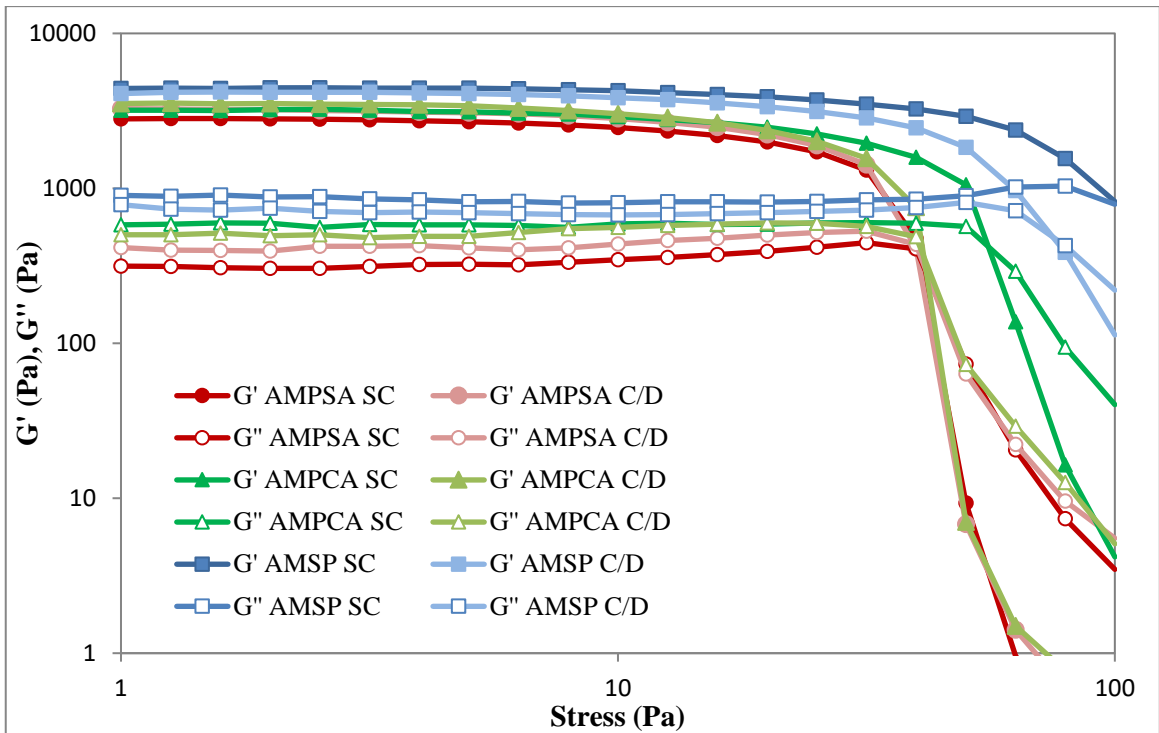
#### **4.4.4. PRUEBAS REOLÓGICAS OSCILATORIAS**

Las pruebas reológicas oscilatorias se realizaron como se ha descrito en la sección de Métodos de Análisis. Primero se realizó el barrido de amplitud y luego el barrido de frecuencia, los cuales se presentan a continuación.

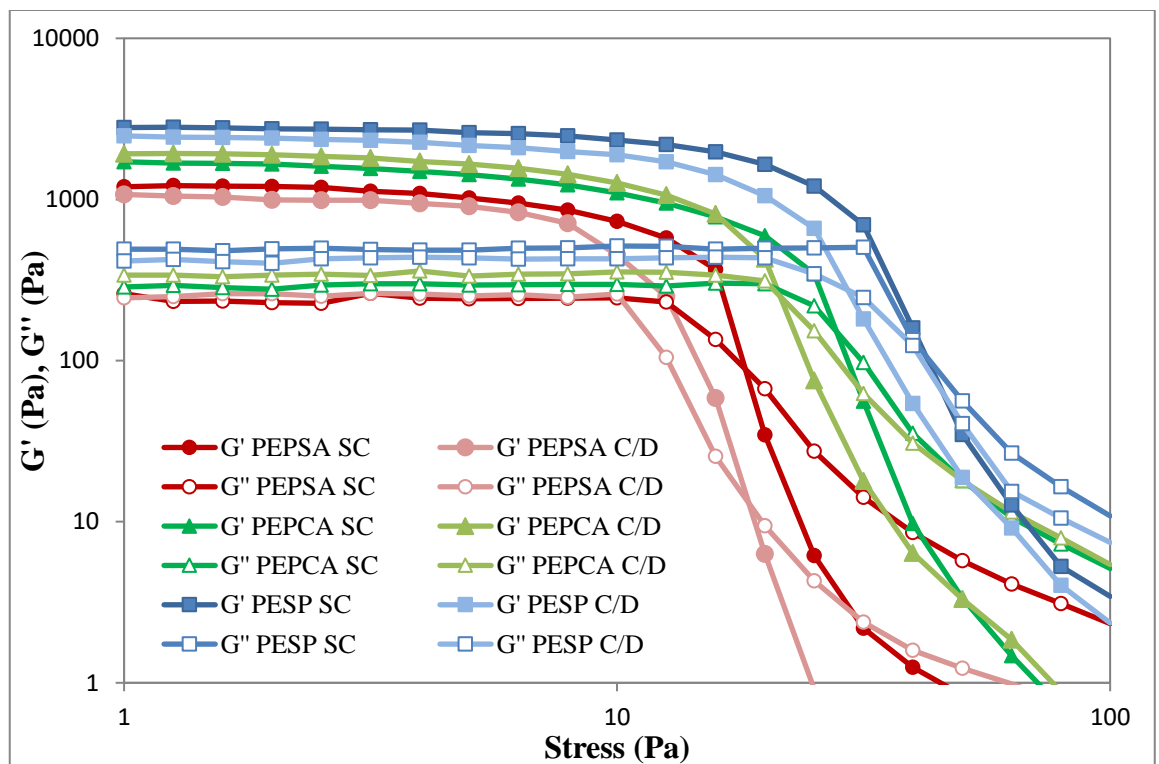
##### **a. BARRIDO DE AMPLITUD**

Para poder caracterizar el comportamiento viscoelástico de los tratamientos trabajados en la presente investigación, fue necesario determinar la región lineal de cada tratamiento para poder obtener resultados reproducibles debido a la sensibilidad de las mediciones reológicas, algo que no se lograría si se trabajase en la región viscoelástica no lineal (Rosalina y Bhattacharya 2002).

En las Figuras 18 y 19 se muestran los barridos de amplitud para los seis tratamientos sin congelar y después de ser congelados/descongelados.



**Figura 18. Barrido de amplitud de los tratamientos AMPSA, AMPCA y AMSP sin congelar (SC) y después de ser congelados/descongelados (C/D)**



**Figura 19. Barrido de amplitud de los tratamientos PEPSA, PEPCA y PESP sin congelar (SC) y después de ser congelados/descongelados (C/D)**

Se observa que la región lineal de los tratamientos frescos y congelados/descongelados se mantiene, en general en el rango de cizalla entre 0.1 y 10 Pa, siendo un valor importante al realizar las pruebas de barrido de frecuencia y trabajar en la región lineal viscoelástica, siendo el esfuerzo a usar el de 1Pa.

Con el barrido de amplitud se puede obtener información como: umbral de fluencia o *yield stress* (Canet *et al.* 2005, Rao 2014). En la Tabla 13 se presenta los resultados de *yield stress*.

**Tabla 13. Valores de *yield stress* de los tratamientos SC y C/D**

| <b>Tratamiento</b> | <b>Yield stress<br/>(Pa)</b> |      |
|--------------------|------------------------------|------|
| <b>AMPSA</b>       | <b>SC</b>                    | 31.6 |
|                    | <b>C/D</b>                   | 31.6 |
| <b>AMPCA</b>       | <b>SC</b>                    | 31.6 |
|                    | <b>C/D</b>                   | 20.0 |
| <b>AMSP</b>        | <b>SC</b>                    | 79.4 |
|                    | <b>C/D</b>                   | 50.1 |
| <b>PEPSA</b>       | <b>SC</b>                    | 10.0 |
|                    | <b>C/D</b>                   | 10.0 |
| <b>PEPCA</b>       | <b>SC</b>                    | 15.9 |
|                    | <b>C/D</b>                   | 12.6 |
| <b>PESP</b>        | <b>SC</b>                    | 31.6 |
|                    | <b>C/D</b>                   | 15.9 |

\*SC: sin congelar, C/D: congelado/descongelado

En general, se puede observar que los valores de *yield stress* en los tratamientos sin congelar son mayores que los que fueron congelados/descongelados. Éste mismo resultado encontraron Canet *et al.* (2005) quienes trabajaron en purés de papa a una temperatura de 55°C; indicando que la congelación/descongelación disminuye la resistencia de la estructura de red de los tratamientos, haciendo que la retención de las partículas pequeñas en su lugar y mantenerlas en suspensión sea menor (Singh *et al.* 1991, Rao 2005).

Los valores obtenidos de *yield stress* para los tratamientos sin congelar estuvieron en el rango 10.0 – 79.4 Pa y de los congelados/descongelados entre 10.0 – 50.1 Pa. Canet *et al.* (2005) reportaron valores similares a los nuestros los cuales iban desde 12.7 hasta 232.2 Pa para los purés sin congelar y desde 9.7 hasta 126.9 Pa para sus los productos congelados/descongelados.

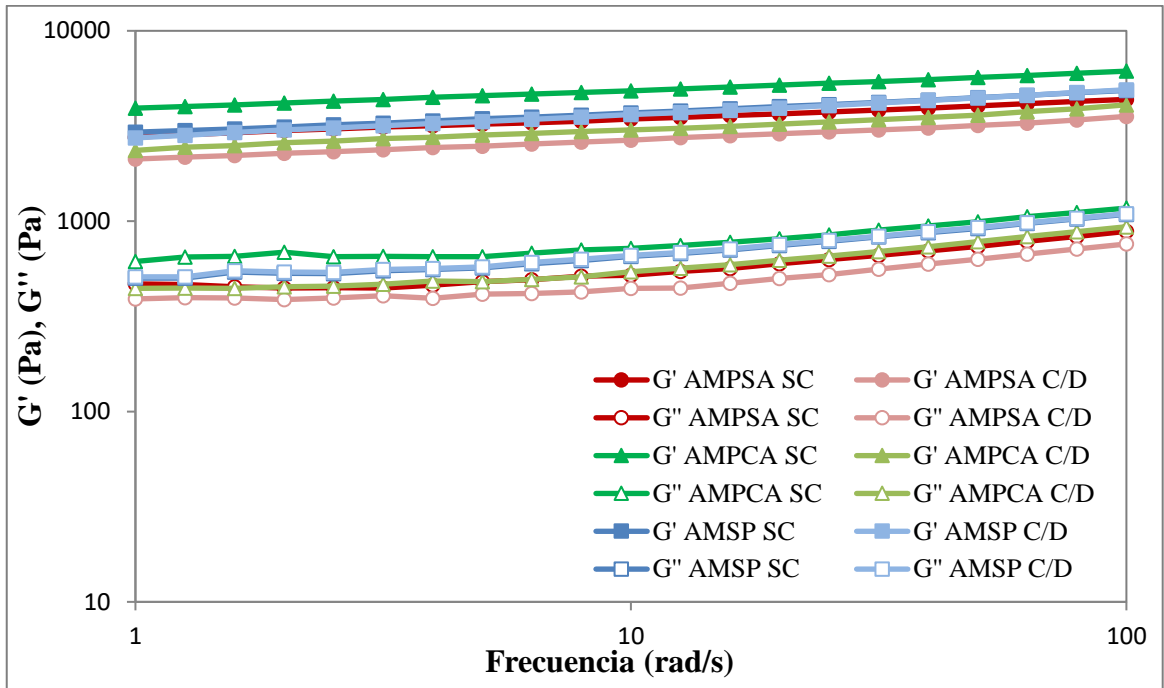
Se observa también que los tratamientos AMSP y PESP fueron los que mayor valor obtuvieron, seguido de AMPCA y PEPCA y finalmente AMPSA y PEPSA respectivamente; y que tras ser congelados/descongelados, los tratamientos que mantuvieron el *yield stress* fueron los tratamientos AMPSA y PEPSA. Esto debido a que estos tratamientos ya habían sufrido una destrucción de su estructura antes de ser congelados al haber sido cocidas sin cáscara; haciéndolos más estables y aptos para una comercialización de productos congelados de este tipo de baja vida útil.

El *yield stress* está muy relacionado con el análisis sensorial y TPA de los alimentos, los cuales se le relaciona con la dispersabilidad del alimento. Daubert *et al.* (1998) demostraron que la capacidad de esparcimiento de algunos alimentos está en una función tanto del *yield stress* como de la deformación de rendimiento. Construyeron un mapa de dispersabilidad con estrés de rendimiento en la ordenada y la tensión de rendimiento a lo largo de la abscisa y dividieron el mapa en tres regiones: fácil de esparcir: 0 – 2000 Pa; leve para extenderse 2000 – 4500 Pa y difícil de difundir: 4000 – 6000 Pa. En nuestro caso, todos los tratamientos al tener una *yield stress* menor que 2000 Pa, los hacen unos alimentos fáciles de esparcir, el cual es un anticipo positivo para los purés que se prepararían a partir de producto iguales a los tratamientos agregándoles leche, mantequilla y sal, haciéndolos suaves de esparcir y es lo que esperaríamos de un puré.

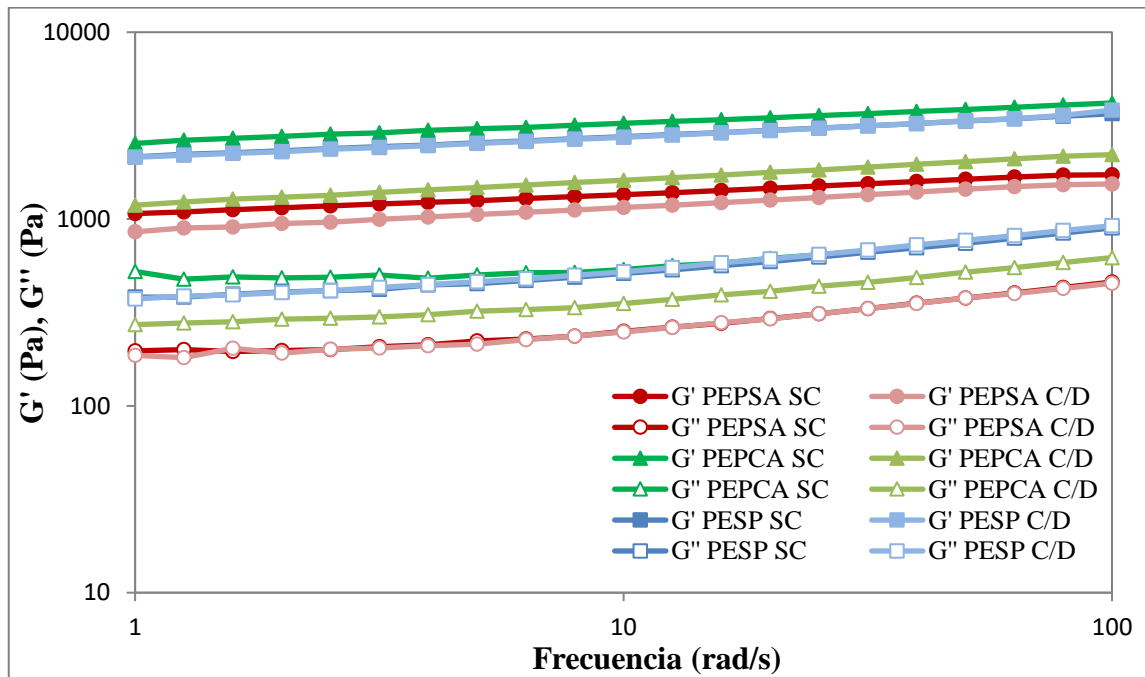
## **b. BARRIDO DE FRECUENCIA**

En el barrido de frecuencia los valores  $G'$  (módulo elástico) y  $G''$  (módulo viscoso) se determinan en función de la frecuencia ( $\omega$ ) a una temperatura fija (Rao 2014). En la presente investigación se utilizó un rango de frecuencia entre 0.1 – 100 rad/s que tras aplicar el modelamiento de la Ley de la potencia, se obtuvieron los índices de comportamiento ( $n'$  y  $n''$ ) y las constantes viscoelásticas ( $k'$  y  $k''$ ). Las gráficas obtenidas del barrido de frecuencia

de los tratamientos sin congelar y congelados-descongelados se muestran en las Figuras 20 y 21. En el ANEXO 9 se presenta el análisis ANOVA y LSD.



**Figura 20: Barrido de frecuencia de los tratamientos AMSP, AMPCA y AMPSA sin congelar (SC) y después de ser congelados/descongelados (C/D)**



**Figura 21: Barrido de frecuencia de los tratamientos PEPSA, PEPCA y PESP sin congelar (SC) y después de ser congelados/descongelados (C/D)**

Los valores de  $G'$  y  $G''$  mostrados en las Figuras 20 y 21 evidenciaron una tendencia creciente con la frecuencia oscilatoria, un comportamiento opuesto de la viscosidad compleja ( $\eta^*$ ) (tabla 14). Así, fue posible modelar los módulos de almacenamiento y pérdida como una función de potencia de la frecuencia oscilatoria.

Además, se puede observar que los valores de  $G'$  son siempre mayor que los de  $G''$  tanto en los tratamientos sin congelar como los congelados/descongelados, lo que indica que el gel de puré de papa formado tras la cocción tiene propiedades elásticas dominantes en lugar de las viscosas (Augusto *et al.* 2012); siendo así, el producto puede clasificarse como un gel débil (Rao 2014). Comportamientos similares de predominancia de las propiedades elásticas sobre las viscosas se encontró en comidas para bebés (Ahmed y Ramaswamy 2006a), pulpa de ciruela (Augusto *et al.* 2012), puré de durazno (Massa *et al.* 2010) y purés de papa con o sin adición de crioprotectores (Fernández *et al.* 2006, Fernández *et al.* 2009).

Una vez obtenidos las gráficas del barrido de frecuencia, se empiezan a modelar a través de la Ley de la potencia obteniéndose los índices de comportamiento y las constantes viscoelásticas, las cuales se muestran en la Tabla 14 donde también se reportan valores de  $G'$ ,  $G''$ , viscosidad compleja ( $\eta^*$ ) y ángulo fase ( $\delta$ ), todos reportados para un valor de frecuencia de 1rad/s. El análisis de varianza indica, en general, que la congelación tuvo un efecto significativo sobre la mayoría de las características reológicas dinámicas de los tratamientos con excepción de los valores  $n''$ .

En los diferentes tratamientos realizados para la elaboración de papa cocida y prensada, se encontró que después de ser congelados/descongelados, dieron lugar a un producto con valores de los parámetros reológicos dinámicos inferiores que los correspondientes al producto sin congelar recién elaborado. Álvarez y Canet (1999) mostraron que las diferencias entre aspectos mecánicos correspondientes a purés de papa frescos y congelados/descongelados podrían ser atribuibles al daño mecánico producido por la congelación, lo que da como resultado una ruptura de paredes celulares, resultando una en una disminución de los valores de las propiedades reológicas  $G'$ ,  $G''$  y  $\eta^*$ .



**Tabla 14: Valores de los parámetros de viscoelasticidad encontrados en los tratamientos SC y C/D**

| Tratamiento |     | G' (Pa)          | G'' (Pa)       | n'            | k' (Pa.s <sup>n</sup> ) | n''           | k'' (Pa.s <sup>n</sup> ) | δ (°)          | η* (Pa.s)        |
|-------------|-----|------------------|----------------|---------------|-------------------------|---------------|--------------------------|----------------|------------------|
| MPSA        | SC  | 2763.4 ± 72.1 a  | 468.6 ± 53.7 a | 0.11 ± 0.01 a | 2645.9 ± 76.0 a         | 0.15 ± 0.03 a | 399.8 ± 34.2 a           | 9.56 ± 0.20 a  | 2803.0 ± 80.2 a  |
|             | C/D | 2119.6 ± 140.1 b | 390.5 ± 87.4 a | 0.13 ± 0.03 a | 1987.6 ± 50.0 b         | 0.15 ± 0.06 a | 344.8 ± 30.0 b           | 10.31 ± 1.46 a | 2157.1 ± 51.6 b  |
| MPCA        | SC  | 3929.3 ± 163.3 a | 514.0 ± 1.3 a  | 0.11 ± 0.01 a | 3782.0 ± 89.0 a         | 0.13 ± 0.01 a | 463.0 ± 38.0 a           | 8.88 ± 0.31 a  | 3977.1 ± 161.6 a |
|             | C/D | 2353.2 ± 25.7 b  | 442.9 ± 53.1 b | 0.14 ± 0.03 a | 2189.9 ± 88.3 b         | 0.17 ± 0.05 a | 393.0 ± 14.3 b           | 10.63 ± 1.77 a | 2397.6 ± 108.1 b |
| AMSP        | SC  | 2931.5 ± 116.8 a | 502.0 ± 1.4 a  | 0.13 ± 0.01 a | 2791.4 ± 104.9 a        | 0.17 ± 0.03 a | 506.6 ± 28.0 a           | 9.80 ± 0.49 a  | 2974.3 ± 114.7 a |
|             | C/D | 2740.1 ± 195.7 a | 510.1 ± 15.9 a | 0.15 ± 0.03 a | 2563.5 ± 100.8 b        | 0.17 ± 0.03 a | 460.8 ± 22.1 b           | 10.71 ± 0.92 a | 2789.5 ± 154.8 a |
| PEPSA       | SC  | 1068.3 ± 97.9 a  | 197.1 ± 4.9 a  | 0.12 ± 0.00 a | 1030.0 ± 72.5 a         | 0.19 ± 0.01 a | 171.1 ± 10.3 a           | 10.48 ± 0.41 a | 1086.3 ± 119.5 a |
|             | C/D | 584.1 ± 5.4 b    | 186.3 ± 36.7 a | 0.15 ± 0.03 a | 819.1 ± 52.8 b          | 0.20 ± 0.03 a | 166.5 ± 11.9 a           | 12.10 ± 2.11 a | 874.9 ± 13.9 b   |
| PEPCA       | SC  | 2546.2 ± 278.9 a | 523.1 ± 16.5 a | 0.13 ± 0.02 a | 2427.3 ± 89.1 a         | 0.14 ± 0.03 a | 431.9 ± 30.9 a           | 11.76 ± 0.83 a | 2597.7 ± 273.9 a |
|             | C/D | 1186.2 ± 39.5 b  | 272.2 ± 1.0 b  | 0.16 ± 0.05 a | 1105.2 ± 71.8 b         | 0.19 ± 0.04 a | 248.8 ± 19.9 b           | 12.55 ± 0.32 a | 1218.8 ± 39.0 b  |
| PESP        | SC  | 2154.4 ± 24.7 a  | 381.8 ± 10.7 a | 0.13 ± 0.01 a | 2054.4 ± 100.6 a        | 0.19 ± 0.02 a | 348.1 ± 22.6 a           | 10.14 ± 0.18 a | 2188.1 ± 26.3 a  |
|             | C/D | 2145.1 ± 98.4 a  | 373.0 ± 21.6 a | 0.13 ± 0.01 a | 2051.9 ± 77.4 a         | 0.20 ± 0.01 a | 347.2 ± 28.4 a           | 9.84 ± 0.53 a  | 2177.3 ± 144.4 a |

Promedio de tres repeticiones ± DS, letras diferentes dentro de una misma columna y fila de tratamiento indican diferencias significativas  $p < 0.05$ .

\*SC: sin congelar; C/D: congelado/descongelado.

\*\*Los valores reportados de G', G'', η\* y δ fueron calculados a una frecuencia de 1rad/s.

Tras realizar el análisis LSD en los índices de comportamiento tanto de las características elástica y viscosas, se encontró que los valores de  $n'$  y  $n''$  de todos los tratamientos no sufrieron un cambio significativo ( $p > 0.05$ ) al pasar el alimento fresco a estar congelado-descongelado.

El índice de comportamiento de las características elásticas y viscosas refleja la influencia de la frecuencia sobre estas propiedades del alimento. Así pues, en los tratamientos trabajados, éstos índices aumentan tras ser congelados indicando que en los tratamientos sin congelar la frecuencia tiene una influencia menor; también se observa que los valores  $n''$  son mayores que los  $n'$  indicando que la frecuencia tiene una influencia mayor en el componente viscoso del producto. Éste aumento también fue reportado por Álvarez y Canet (2001a) quienes observaron que las muestras que eran sometidas a ciclos sucesivos de congelación y descongelación presentaban una dependencia superior de la frecuencia de los módulos viscoelásticos, así como una diferencia ligeramente inferior entre ambos módulos.

Diferentes autores señalan que un material que es independiente de la frecuencia en un amplio rango de escala de tiempo es de tipo sólido, siendo un verdadero gel de este tipo; mientras que la dependencia a la frecuencia es un gel débil que se comporta como un sólido a frecuencias más altas y más como un líquido a bajas frecuencias (Arocas 2008, Rosalina y Bhattacharya 2002). Por consiguiente, se podría confirmar lo anteriormente descrito, que los geles formados por los tratamientos son geles débiles.

Además, ésta diferencia de valores de  $n'$  y  $n''$  entre los tratamientos es por causa del contenido de almidón de las materias primas, el tamaño del almidón y el contenido de amilosa del almidón (Kim *et al.* 1995, Kaur *et al.* 2007)

Por otro lado, un parámetro característico en la evaluación del comportamiento viscoelástico de los alimentos semisólidos es el ratio  $G''/G'$  que expresa la tangente del ángulo de fase  $\delta$  ( $\tan \delta$ ), y que mide la energía perdida en comparación con la energía almacenada en un ciclo de deformación. Un ángulo de fase de  $90^\circ$  indica que el material es completamente viscoso mientras que un material elástico se caracteriza por valores del ángulo de fase próximos a  $0^\circ$  (Ahmed y Ramaswamy 2006a, 2006b).

Los valores de  $\tan \delta$  fueron menores a 1 en los tratamientos sin congelar y congelados indicando el predominio de las propiedades elásticas sobre las viscosas. Las propiedades elásticas observadas pueden ser atribuidas a la asociación intermolecular de las cadenas de amilosa lixiviada de los gránulos de almidón (Chang *et al.* 2004).

Aunque el ángulo de fase haya tenido un aumento de sus valores después de la congelación, el análisis LSD señaló que no hubo diferencias significativas entre los valores del ángulo de fase de los tratamientos sin congelar y los congelados/descongelados. Esto indica que a pesar de que se haya sufrido un cambio en las propiedades viscoelásticas, en general, la relación  $G''/G'$  se mantuvo a pesar de ser congelados/descongelados, haciendo que el efecto de la congelación haya sido menor en todos los tratamientos.

Por otro lado, el que el ángulo de fase de los tres tratamientos sin congelar y congelado/descongelado de la variedad Peruanita y de la variedad Amarilla Tumbay estén en el rango  $9.84^\circ - 12.55^\circ$  y  $9.01^\circ - 10.71^\circ$  respectivamente, confirman que el gel formado durante la preparación de la muestra es viscoelástica.

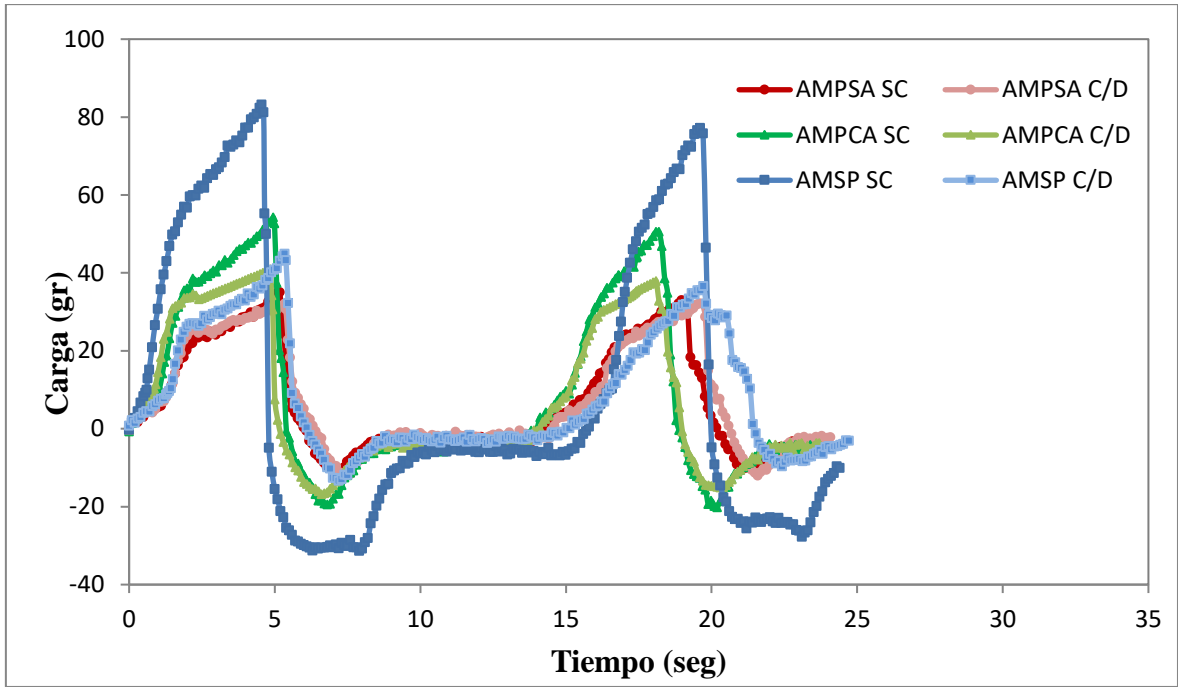
Es conocido que la congelación hace que en algunos alimentos su efecto sea más perceptible. Fernández *et al.* (2006) encontraron que los panelistas detectaron una diferencia entre el puré de papa sin congelar con el congelado/descongelado, resaltando el efecto negativo que la congelación tiene sobre este tipo de productos. Sin embargo, el producto con el que ellos trabajaron fue masa de papa con leche, sal, mantequilla y leche haciéndolo un producto con receta fija para el producto, pero en nuestro caso, el producto trabajado es únicamente masa de papa lo cual al ser un producto intermedio entre la materia prima y el producto final (puré de papa), esta diferencia perceptible se puede disminuir al agregar los ingredientes frescos: leche, mantequilla y sal.

#### **4.4.5. ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA (TPA)**

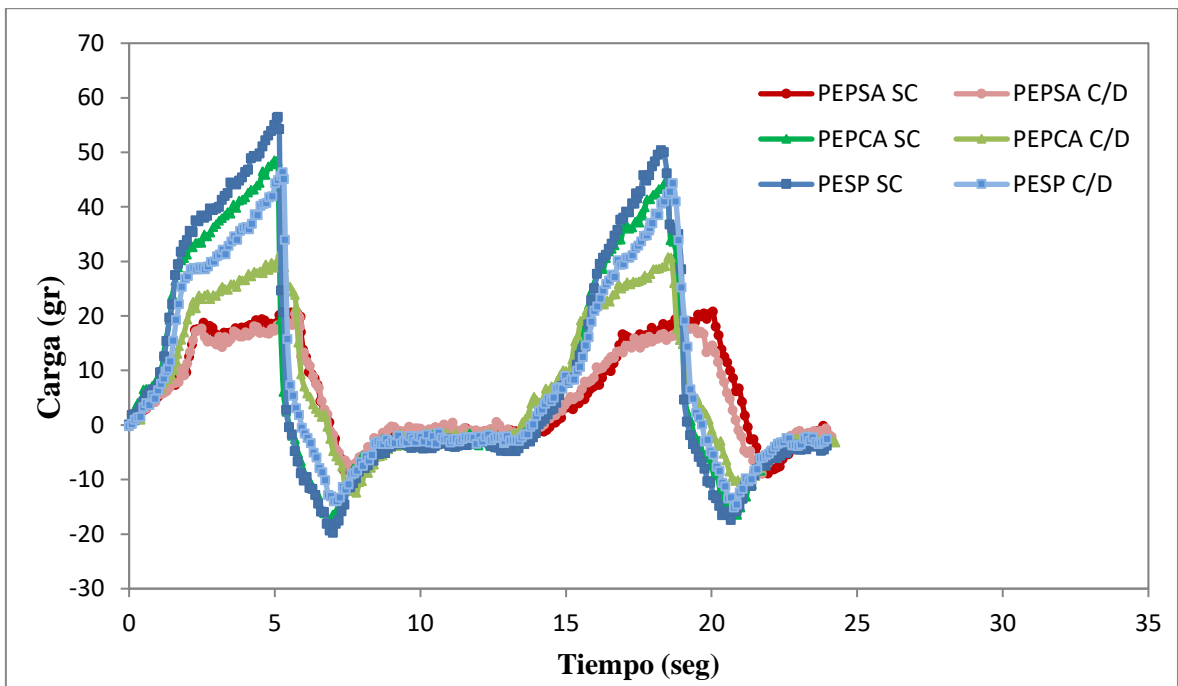
La textura es una propiedad sensorial que sólo un humano (o un animal en el caso de comida para animales) puede percibir y describir, siendo, por ejemplo, la dureza uno de las propiedades del alimento que se puede caracterizar el cual describe un producto que muestra una resistencia sustancial a la deformación o rotura, describiendo los adjetivos de “duro” o “suave” (Bourne 2002, Szczesniak 2002).

Gran parte del procesamiento de alimentos está dirigido a cambiar las propiedades alimento, generalmente en la dirección de debilitar la estructura para hacerla más fácil de masticar. Aunque muchos procesamientos de alimentos están deliberadamente diseñados para modificar propiedades de textura, hay algunos casos donde los cambios de textura son inadvertidos, siendo un resultado secundario del procesamiento para algún otro propósito. Estos cambios texturales son frecuentemente indeseables. Un buen ejemplo de esto es el extremo ablandamiento y severa degradación textural que resulta de conservar, congelar o preservar la irradiación de frutas y verduras. En algunos casos, el daño a la textura es tan grande que el producto resultante es invendible, en cuyo caso ese método de procesamiento no se usa en ese producto (Bourne 2002). De ahí la importancia del estudio del análisis de TPA de los tratamientos para ver el efecto de la congelación/descongelación en los tratamientos estudiados y ver si es óptima para dicha conservación.

El análisis de perfil de textura (TPA) se realizó en el Texturómetro Instron, utilizando el accesorio de back extrusión, obteniéndose los perfiles de textura mostrados a continuación en las Figuras 22 y 23, para la variedad Amarilla y Peruanita respectivamente. Los resultados se presentan en la Tabla 15.



**Figura 22: TPA de los tratamientos AMPSA, AMPCA y AMSP sin congelar (SC) y después de ser congelados/descongelados (C/D)**



**Figura 23: TPA de los tratamientos PEPSA, PEPCA y PESP sin congelar (SC) y después de ser congelados/descongelados (C/D)**

**Tabla 15. Característica de textura de los tratamientos SC y C/D**

| <b>Tratamiento</b> |            | <b>Dureza<br/>[gf]</b> | <b>Adhesividad<br/>[gf-mm]</b> | <b>Cohesividad</b> | <b>Elasticidad</b> | <b>Gomosidad<br/>[gf]</b> | <b>Masticabilidad<br/>[gf]</b> |
|--------------------|------------|------------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------|---------------------------|--------------------------------|
| <b>AMPSA</b>       | <b>SC</b>  | 35.7 ± 0.1 a           | 60.9 ± 0.4 a                   | 0.83 ± 0.02 a      | 0.87 ± 0.01 a      | 31.8 ± 3.8 a              | 27.7 ± 3.6 a                   |
|                    | <b>C/D</b> | 33.4 ± 0.9 a           | 60.9 ± 0.5 a                   | 0.75 ± 0.01 b      | 0.88 ± 0.02 a      | 25.1 ± 0.5 b              | 21.9 ± 0.6 b                   |
| <b>AMPCA</b>       | <b>SC</b>  | 54.8 ± 4.1 a           | 200.6 ± 4.0 a                  | 0.75 ± 0.01 a      | 0.81 ± 0.01 a      | 41.2 ± 3.6 a              | 33.3 ± 3.3 a                   |
|                    | <b>C/D</b> | 41.4 ± 3.0 b           | 128.6 ± 6.0 b                  | 0.74 ± 0.02 a      | 0.81 ± 0.01 a      | 30.7 ± 2.8 b              | 24.8 ± 2.3 b                   |
| <b>AMSP</b>        | <b>SC</b>  | 83.6 ± 1.1 a           | 378.9 ± 3.4 a                  | 0.69 ± 0.01 a      | 0.77 ± 0.01 a      | 57.5 ± 1.1 a              | 44.5 ± 1.1 a                   |
|                    | <b>C/D</b> | 46.4 ± 1.2 b           | 79.9 ± 2.6 b                   | 0.78 ± 0.03 b      | 0.84 ± 0.01 b      | 36.6 ± 1.9 b              | 30.5 ± 2.3 b                   |
| <b>PEPSA</b>       | <b>SC</b>  | 21.5 ± 0.4 a           | 60.9 ± 0.5 a                   | 0.90 ± 0.01 a      | 0.92 ± 0.02 a      | 19.3 ± 0.2 a              | 17.7 ± 0.2 a                   |
|                    | <b>C/D</b> | 20.8 ± 0.9 a           | 60.7 ± 0.7 a                   | 0.86 ± 0.06 a      | 0.92 ± 0.01 a      | 18.0 ± 1.7 a              | 16.5 ± 1.8 a                   |
| <b>PEPCA</b>       | <b>SC</b>  | 49.1 ± 2.6 a           | 148.9 ± 2.5 a                  | 0.76 ± 0.01 a      | 0.83 ± 0.01 a      | 37.5 ± 2.3 a              | 31.2 ± 2.2 a                   |
|                    | <b>C/D</b> | 32.8 ± 0.7 b           | 60.6 ± 1.7 b                   | 0.78 ± 0.02 a      | 0.89 ± 0.05 b      | 25.8 ± 1.4 b              | 22.9 ± 1.5 b                   |
| <b>PESP</b>        | <b>SC</b>  | 57.8 ± 2.0 a           | 178.5 ± 7.4 a                  | 0.75 ± 0.01 a      | 0.81 ± 0.01 a      | 43.3 ± 1.5 a              | 35.0 ± 1.2 a                   |
|                    | <b>C/D</b> | 47.1 ± 2.3 b           | 92.4 ± 4.7 b                   | 0.79 ± 0.02 b      | 0.83 ± 0.00 a      | 37.1 ± 1.8 a              | 30.9 ± 1.4 b                   |

Promedio de tres repeticiones ± DS, letras diferentes dentro de una misma columna y fila de tratamiento indican diferencias significativas  $p < 0.05$ .

\*SC: sin congelar, C/D: congelado/descongelado

Respecto a la dureza, como se puede observar en la Tabla 15, los tratamientos AMSP y PESP fueron los que obtuvieron una mayor dureza. Diferentes estudios realizados en geles de papa respecto a agregar diferentes compuestos para mejorar las características del propio gel, indican que al aumentar éstos compuestos también se está aumentando la materia seca del alimento original, influyendo así en la dureza del producto, el cual aumenta (Fernández *et al.* 2008, Chen *et al.* 2013). Como se vio anteriormente, las papas que pasaron por el tratamiento ácido (AMPCA y PEPCA) son las que obtuvieron un contenido intermedio de materia seca y que también son los que obtuvieron valores de dureza entre los tratamientos sin pelar y pelados sin ácido, siendo mayor que los últimos.

Aunque los valores de dureza disminuyen de manera significativa en la mayoría de los tratamientos tras ser congelados-descongelados, los tratamientos que mostraron una mayor estabilidad en la dureza fueron los tratamientos AMPSA y PEPSA. Esta disminución sugiere que la estructura de gel de los tratamientos estudiados recién elaborados, se debilita como consecuencia de los procesos de congelación y descongelación. Resultados similares fueron reportados por Redmond *et al.* (2003) y Álvarez *et al.* (2005) quienes encontraron que los valores de fuerza de penetración eran más bajos en puré de papas congeladas de diferentes variedades que en los respectivos productos frescos. Una posible explicación para este comportamiento es que la estructura del gránulo de almidón gelatinizado se daña a temperaturas de congelación debido a la presión ejercida por la matriz de hielo en los gránulos. Ferrero y Zarirzky (2000) señalan que esta pérdida de dureza se deba a la formación de estructuras esponjosas debido a la retrogradación de la amilosa.

En la adhesividad, los tratamientos AMSP y PESP fueron los que obtuvieron los mayores valores a diferencia de los demás tratamientos de la misma variedad, con valores de 378.9 y 178.5 gf-mm para los tratamientos sin congelar; y con 79.9 y 92.4 para los tratamientos congelados/descongelados, respectivamente. Esta relación se puede deber a una mayor formación de gel en dichos tratamientos debido a su mayor contenido de almidón y materia seca, a diferencia de los tratamientos que fueron cocidos sin cáscara, los cuales, al cocerlos, el agua lixivió los compuestos mencionados. En los tratamientos congelados/descongelados, los valores de adhesividad fueron menores que los tratamientos frescos, el cual corrobora investigaciones anteriores en puré de papas congelados y descongelados en cámara (Redmon *et al.* 2003, Álvarez *et al.* 2005). Sin embargo, los tratamientos que no mostraron una

diferencia significativa y una mayor estabilidad en esta propiedad fueron los tratamientos AMPSA y PEPSA.

Los tratamientos AMPCA, PEPSA y PEPCA no mostraron una diferencia significativa tras ser congelados/descongelados en la característica cohesividad; y los tratamientos AMPSA, AMPCA, PEPSA y PESP fueron los que mantuvieron mayor elasticidad a pesar de ser congelados/descongelados.

Los parámetros de TPA parecen ser más apropiados que el resto para detectar la retrogradación inducida por congelación del almidón en los productos bajo todas las condiciones evaluadas (Álvarez *et al.* 2005). En todos los tratamientos de la variedad Amarilla Tumbay, la congelación/descongelación afectó significativamente la gomosidad, teniendo valores más bajos de dicha característica; mientras que, en la variedad Peruanita, los tratamientos PEPSA y PESP fueron los que mostraron una mayor estabilidad al no disminuir significativamente.

Uno de los problemas más comunes es el efecto negativo que tiene la congelación en los alimentos tipo puré pues afecta directamente en la textura. Esto ha conllevado a encontrar formas de disminuir el efecto de dicha tecnología en el alimento. Uno de ellos es Álvarez *et al.* (2005) quienes estudiaron el efecto de la congelación-descongelación en puré de papas utilizando diferentes métodos de congelación y descongelación. Encontraron que lo más efectivo para este tipo de producto es una congelación y descongelación rápida pues no afectaría de manera significativa las propiedades de textura del alimento. Además, que en este tipo de productos, los parámetros de textura son afectados más significativamente por el método de descongelación que por la temperatura de congelación, recomendando una descongelación por microondas. En el estudio, con los resultados obtenidos, se evidencia una estabilidad mayor en los tratamientos AMPSA y PEPSA a pesar de haber sido congelados de forma lenta y descongelados lentamente en refrigeración, el cual es difícil que ocurra ya que lo más probable es que al momento de comprarlos congelados, irán directamente a la olla para su descongelación y mezcla final o una descongelación por microondas para luego ponerlo en la olla, haciendo apto los tratamientos estudiados para su comercialización.



Finalmente, Martínez *et. al.* (2015) encontraron que el contenido de amilosa y amilopectina influye en la textura de los geles formados por el almidón de las papas, Tras estudiar el contenido de amilosa y el TPA de diferentes almidones obtenidos de papas nativas peruanas obtuvieron los siguientes resultados: el almidón que obtuvo un menor contenido de amilosa fue el que presentó la menor gomosidad de todos los almidones; mientras que el almidón con mayor cantidad de amilosa presentó la mayor adhesividad; pero no encontraron una tendencia entre el contenido de amilosa y la característica dureza. En la investigación, el contenido de amilosa/amilopectina pudo haber influenciado en los geles formados para el análisis de TPA de todos los tratamientos, pudiendo presentar mayores niveles de amilosa los tratamientos sin pelar (AMSP y PESP) por tener mayor adhesividad, seguidamente por los tratamientos con una inmersión ácida (AMPCA y PEPCA) y al final, con poco contenido de amilosa los tratamientos sin cáscara y sin inmersión ácida (AMPSA y PEPSA).

#### **4.5. EFECTO DEL ALMACENAMIENTO EN CONGELACIÓN**

Durante almacenamiento congelado, incluso a temperaturas muy bajas, todavía pueden tomar lugar reacciones físicas y químicas en los alimentos lo cual conduce a una gradual e irreversible reducción de la calidad de los productos (Gormley *et al.* 2002).

##### **4.5.1. COLOR**

En general se observó que la variedad de papa, los tratamientos previos a la congelación y el tiempo de almacenamiento influyeron de forma significativa ( $p < 0.05$ ) en el color de las muestras de papa cocida, prensada y congelada. Los resultados de las medidas de color  $a^*$ ,  $b^*$  y  $L^*$  se muestran en la Tabla 16. El ANOVA (ANEXO 10) total dio como resultado promedio que la variedad Amarilla Tumbay presentó una tendencia más alta hacia los colores rojo ( $a^* = 3.19$ ) y amarillo ( $b^* = 45.15$ ) que la variedad Peruanita ( $a^* = -2.502$  y  $b^* = 41.97$ ), durante el almacenamiento y para todos los tratamientos. En cuanto a la luminosidad ( $L^*$ ), esta fue significativamente menor para la variedad Amarilla Tumbay que para la variedad Peruanita con valores promedio de 67.41 y 68.05 respectivamente.

De otro lado los valores de luminosidad correspondientes a los diferentes procesos previos a la congelación fueron mayores para las muestras peladas y con inmersión de ácido cítrico antes de la cocción ( $L^* = 69.78$ ) y menores para las muestras que fueron cocidas sin pelar ( $L^* = 63.82$ ). Una tendencia similar se encontró para la medida del color amarillo, con

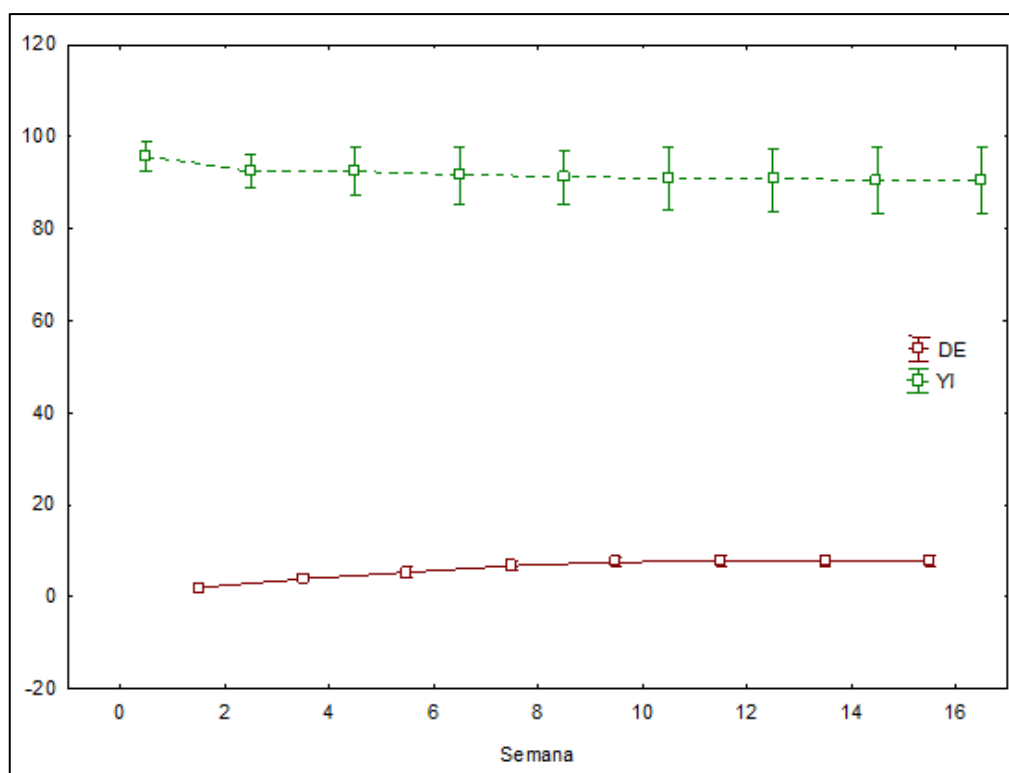
valores de  $b^*$  de 45.93, 44.55 y 40.20 para las muestras peladas con adición de ácido cítrico, peladas sin adición de ácido cítrico y sin pelar antes de la cocción, respectivamente.

Wang-Pruski y Novak (2004) mencionaron que entre los factores que influyen en el oscurecimiento de papas después de la cocción es de gran importancia la presencia de ácido clorogénico, el que se encuentra localizado principalmente en la cáscara (más del 50%), de ahí que esto pueda explicar que el tratamiento cocido sin pelar tuviera los menores valores de luminosidad y color amarillo, comparado con los tratamientos pelados. Así mismo los mismos autores consideran que el ácido cítrico actúa reaccionando con el hierro presente y evitando el oscurecimiento por la formación de complejos de hierro con ácido clorogénico. En cuanto a la medida del color rojo la muestra de papas peladas con adición de ácido cítrico, antes de la cocción, presentó en general una tendencia significativamente mayor hacia el color rojo ( $a^* = 0.43$ ) que las muestras peladas sin adición de ácido y las sin pelar con valores de  $a^* = 0.24$  y  $0.34$  respectivamente.

La variación del color amarillo ( $b^*$ ) y la luminosidad ( $L^*$ ) durante el almacenamiento en congelación presentaron una disminución significativa desde 47.5 y 70.9 respectivamente, al inicio hasta 42.11 y 66.03 respectivamente en la semana 12 a partir de la cual se mantuvieron sin diferencias significativas hasta la semana 16, en tanto la tendencia a la coloración roja fue fluctuante en el rango de valores de  $a^*$  de 0.68 a 0.15, sin presentar una tendencia definida.

La diferencia total de color  $\Delta E^*$ , presentó en general un valor promedio significativamente menor para la variedad Amarilla Tumbay (5.52) que para la variedad Peruanita (6.57), en todos los tratamientos aplicados. Así también el procedimiento de pelado con adición de ácido cítrico antes de la cocción obtuvo un valor promedio de  $\Delta E$  significativamente menor (5.65) con respecto a los otros procedimientos (6.24 sin pelar y 6.25 pelado sin adición de ácido). Los valores de este parámetro aumentan durante el almacenamiento, estando su valor en el rango de 0 a 11.04, lo cual bajo la clasificación reportada por Adekunle *et al.* (2010) estaría indicando que a la semana 16 podría percibirse cambios visibles en el color.  $\Delta E^*$  puede mostrar solamente la "cantidad" de diferencia de color y no su dirección. Si es importante mostrar en qué dirección cambia el color, es mejor usar parámetros como índice de blancura, amarillez u oscurecimiento (Hirschler 2012).

El índice de amarillez (YI) en valores promedios fue significativamente mayor (95.71) para la variedad Amarilla Tumbay que para la variedad Peruanita (87.77), siendo mayor (94.02) para las muestras que fueron peladas y sometidas a inmersión con ácido cítrico antes de la cocción en comparación con las muestras sin pelar (89.78) y peladas sin adición de ácido (91.42). De otro lado el almacenamiento en congelación afectó esta medida provocando su disminución desde 95.66 al inicio, hasta 90.4 en la semana 16, presentando menores descensos en los tratamientos PCA. Sin embargo, a partir de la semana 8 no se presentaron cambios significativos en el índice de amarillez como se puede apreciar en la Figura 24.



**Figura 24. Diferencia total de color ( $\Delta E^*$ ) y del índice de amarillez (YI) promedio de los tratamientos con respecto al tiempo de almacenamiento en congelación.**

Al respecto, Álvarez *et al.* (2005) encontraron que la congelación tuvo un efecto de oscurecimiento y una disminución en la luminosidad en las muestras de puré de papa blanca de la variedad Kennebec (*S. tuberosum*), con adición de leche, agua y sal antes de la cocción y congelación. Así mismo, su almacenamiento a  $-24^{\circ}\text{C}$  durante un año, provocó una pérdida del color comparado con el producto fresco. De manera similar Redmond *et al.* (2002) encontraron un oscurecimiento (disminución de luminosidad) después de la congelación y

descongelación de *flakes* de papa reconstituidos con agua, congelados en recipientes plásticos hasta una temperatura interna de  $-25^{\circ}\text{C}$  y almacenados a la misma temperatura durante 4 días para luego ser descongelados a  $4^{\circ}\text{C}$ . Los autores atribuyeron el oscurecimiento a la oxidación por presencia de oxígeno durante la congelación.

En la Tabla 16 se aprecian todas las medidas del color realizadas, donde se puede apreciar que a partir de la semana 10 el color se estabilizó en todos los tratamientos, no presentando cambios significativos del color hasta el final del almacenamiento.

**Tabla 16. Medidas de color durante el almacenamiento para los tratamientos aplicados**

| Trat. | Semana            | L*                 | a*                 | b*                 | $\Delta E^*$       | YI                 |
|-------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| AMSP  | 0                 | $69.48 \pm 1.14a$  | $2.3 \pm 0.02d$    | $46.13 \pm 0.47a$  | 0                  | $94.84 \pm 0.51a$  |
|       | 2                 | $69.32 \pm 0.34a$  | $2.84 \pm 0.13a$   | $45.54 \pm 1.11ab$ | $0.92 \pm 0.17a$   | $93.87 \pm 0.80a$  |
|       | 4                 | $66.98 \pm 0.78b$  | $2.62 \pm 0.07b$   | $45.44 \pm 1.27ab$ | $2.64 \pm 0.83b$   | $96.91 \pm 0.25b$  |
|       | 6                 | $64.65 \pm 1.34c$  | $2.5 \pm 0.08cd$   | $44.80 \pm 0.83b$  | $5.03 \pm 1.12c$   | $98.99 \pm 0.64c$  |
|       | 8                 | $64.34 \pm 0.33c$  | $2.5 \pm 0.10cd$   | $44.42 \pm 0.53b$  | $5.45 \pm 0.26cd$  | $98.64 \pm 1.22cd$ |
|       | 10                | $63.33 \pm 1.13c$  | $2.5 \pm 0.06cd$   | $44.36 \pm 0.76b$  | $6.42 \pm 0.73d$   | $100.08 \pm 0.82d$ |
|       | 12                | $63.33 \pm 0.53c$  | $2.75 \pm 0.05ab$  | $44.30 \pm 0.44B$  | $6.44 \pm 0.55d$   | $99.93 \pm 0.31d$  |
|       | 14                | $63.33 \pm 0.53c$  | $2.55 \pm 0.14bc$  | $44.31 \pm 0.44b$  | $6.43 \pm 0.55d$   | $99.96 \pm 0.30d$  |
| AMPSA | 0                 | $71.76 \pm 1.25a$  | $3.49 \pm 0.18ab$  | $47.86 \pm 0.35a$  | 0                  | $95.28 \pm 0.98a$  |
|       | 2                 | $71.71 \pm 0.24a$  | $4.05 \pm 0.11b$   | $46.38 \pm 0.74ab$ | $1.58 \pm 0.56a$   | $92.40 \pm 0.41b$  |
|       | 4                 | $68.87 \pm 0.48b$  | $3.29 \pm 0.41a$   | $45.90 \pm 1.53bc$ | $3.50 \pm 0.18b$   | $95.21 \pm 0.87a$  |
|       | 6                 | $68.95 \pm 1.19b$  | $3.34 \pm 0.89a$   | $44.52 \pm 0.48cd$ | $4.37 \pm 0.42c$   | $92.24 \pm 0.55b$  |
|       | 8                 | $67.53 \pm 0.37c$  | $3.33 \pm 0.12a$   | $43.75 \pm 1.33de$ | $5.90 \pm 0.64d$   | $92.55 \pm 0.64b$  |
|       | 10                | $66.19 \pm 1.13d$  | $3.32 \pm 0.11a$   | $42.79 \pm 1.84e$  | $7.53 \pm 0.35e$   | $92.36 \pm 0.13b$  |
|       | 12                | $66.22 \pm 0.02d$  | $3.40 \pm 0.11a$   | $42.16 \pm 0.18e$  | $7.95 \pm 0.17e$   | $90.95 \pm 0.40c$  |
|       | 14                | $66.21 \pm 0.02d$  | $3.45 \pm 0.11a$   | $42.15 \pm 0.18e$  | $7.96 \pm 0.23e$   | $90.95 \pm 0.30c$  |
| AMPCA | 0                 | $71.3 \pm 0.32a$   | $3.67 \pm 0.13a$   | $50.79 \pm 1.30a$  | 0                  | $101.77 \pm 0.42a$ |
|       | 2                 | $70.14 \pm 0.48ab$ | $4.35 \pm 0.17b$   | $48.13 \pm 0.47b$  | $2.98 \pm 0.56a$   | $98.03 \pm 0.66b$  |
|       | 4                 | $69.03 \pm 1.47bc$ | $3.41 \pm 0.46a$   | $43.20 \pm 2.83c$  | $5.13 \pm 0.53b$   | $95.61 \pm 0.41c$  |
|       | 6                 | $68.92 \pm 1.37bc$ | $3.39 \pm 0.22a$   | $46.14 \pm 1.25bd$ | $5.23 \pm 1.01bc$  | $95.64 \pm 0.52c$  |
|       | 8                 | $68.12 \pm 0.31c$  | $3.42 \pm 0.01a$   | $45.29 \pm 0.99cd$ | $6.36 \pm 0.68bcd$ | $94.98 \pm 0.63c$  |
|       | 10                | $67.93 \pm 0.82c$  | $3.41 \pm 0.02a$   | $45.28 \pm 0.36cd$ | $6.46 \pm 0.93cd$  | $95.23 \pm 0.53c$  |
|       | 12                | $67.71 \pm 0.63c$  | $3.45 \pm 0.45a$   | $45.27 \pm 1.19cd$ | $6.59 \pm 1.01d$   | $95.51 \pm 1.13c$  |
|       | 14                | $67.7 \pm 0.63c$   | $3.48 \pm 0.45a$   | $45.26 \pm 1.19cd$ | $6.60 \pm 0.68d$   | $95.51 \pm 0.75c$  |
| 16    | $67.68 \pm 0.63c$ | $3.46 \pm 0.45a$   | $45.25 \pm 1.19cd$ | $6.62 \pm 0.86d$   | $95.51 \pm 0.85c$  |                    |

<<continuación>>

|       |               |                |                |                |               |                |
|-------|---------------|----------------|----------------|----------------|---------------|----------------|
| PESP  | 0             | 66.41 ± 1.60a  | -2.24 ± 0.13ac | 41.50 ± 1.00a  | 0             | 89.27 ± 0.79a  |
|       | 2             | 66.2 ± 0.99a   | -1.99 ± 0.14ab | 39.92 ± 2.14ab | 1.61 ± 0.73a  | 86.15 ± 0.40b  |
|       | 4             | 66.17 ± 0.18a  | -1.63 ± 0.31b  | 37.83 ± 2.17bc | 3.73 ± 0.20b  | 81.67 ± 1.10c  |
|       | 6             | 62.6 ± 0.73b   | -1.62 ± 0.40b  | 35.13 ± 0.61cd | 7.45 ± 0.63c  | 80.17 ± 0.88d  |
|       | 8             | 61.07 ± 0.43bc | -1.59 ± 0.11b  | 34.53 ± 2.83d  | 8.80 ± 0.40d  | 80.78 ± 0.25cd |
|       | 10            | 60.11 ± 2.24c  | -1.62 ± 0.12b  | 33.15 ± 1.21d  | 10.48 ± 0.09e | 78.79 ± 0.79e  |
|       | 12            | 60.04 ± 1.53c  | -2.75 ± 0.11c  | 32.98 ± 1.60d  | 10.65 ± 0.56e | 78.47 ± 0.72ef |
|       | 14            | 60.04 ± 1.53c  | -1.66 ± 0.11b  | 32.52 ± 1.60d  | 11.03 ± 0.39e | 77.38 ± 0.14fg |
| 16    | 60.04 ± 1.53c | -1.65 ± 0.11b  | 32.50 ± 1.60d  | 11.04 ± 0.25e  | 77.33 ± 0.53g |                |
| PEPSA | 0             | 74.36 ± 0.55a  | -3.05 ± 0.13a  | 49.71 ± 0.45a  | 0             | 95.50 ± 0.24a  |
|       | 2             | 73.76 ± 0.82a  | -2.49 ± 0.15b  | 47.47 ± 1.13b  | 2.39 ± 0.33a  | 91.94 ± 0.73b  |
|       | 4             | 71.52 ± 0.45b  | -2.4 ± 0.11b   | 45.91 ± 0.95b  | 4.79 ± 0.42b  | 91.70 ± 0.65b  |
|       | 6             | 71.42 ± 2.76b  | -3.25 ± 0.55a  | 44.38 ± 1.40b  | 6.09 ± 0.21c  | 88.77 ± 0.41c  |
|       | 8             | 69.93 ± 1.01b  | -3.25 ± 0.17a  | 43.54 ± 1.60b  | 7.60 ± 0.68d  | 88.95 ± 0.31c  |
|       | 10            | 69.47 ± 0.64b  | -3.27 ± 0.57a  | 43.33 ± 1.96b  | 8.04 ± 0.40d  | 89.10 ± 0.77c  |
|       | 12            | 69.56 ± 1.16b  | -3.28 ± 0.17a  | 43.30 ± 0.09b  | 8.01 ± 0.74d  | 88.93 ± 0.24c  |
|       | 14            | 69.56 ± 1.16b  | -3.22 ± 0.17a  | 43.30 ± 0.09b  | 8.01 ± 0.74d  | 88.93 ± 0.24c  |
| 16    | 69.56 ± 1.16b | -3.4 ± 0.17a   | 43.29 ± 0.09b  | 8.02 ± 0.75d   | 88.91 ± 0.24c |                |
| PEPCA | 0             | 74.12 ± 0.36a  | -3.00 ± 0.2a   | 49.04 ± 1.07a  | 0             | 94.52 ± 1.26a  |
|       | 2             | 74.04 ± 0.46a  | -2.63 ± 0.12a  | 48.03 ± 0.79ab | 1.08 ± 0.63a  | 92.67 ± 0.09c  |
|       | 4             | 71.97 ± 0.33b  | -2.63 ± 0.22a  | 47.45 ± 0.70ab | 2.70 ± 0.27b  | 94.19 ± 0.60bc |
|       | 6             | 70.76 ± 0.52c  | -2.67 ± 0.20a  | 46.19 ± 1.01b  | 4.42 ± 0.08c  | 93.25 ± 0.54ab |
|       | 8             | 69.36 ± 0.28d  | -2.63 ± 0.12a  | 43.87 ± 1.00c  | 7.04 ± 0.35d  | 90.36 ± 0.65d  |
|       | 10            | 69.36 ± 0.48d  | -2.61 ± 0.12a  | 43.76 ± 1.28c  | 7.12 ± 0.34d  | 90.13 ± 0.73d  |
|       | 12            | 69.33 ± 0.03d  | -2.65 ± 0.18a  | 43.59 ± 1.37c  | 7.26 ± 0.28d  | 89.82 ± 0.30d  |
|       | 14            | 69.32 ± 0.03d  | -2.64 ± 0.18a  | 43.50 ± 1.37c  | 7.34 ± 0.09d  | 89.65 ± 0.39d  |
| 16    | 69.33 ± 0.03d | -2.63 ± 0.18a  | 43.48 ± 1.37c  | 7.35 ± 0.14d   | 89.59 ± 0.22d |                |

Promedio de tres repeticiones ± DS; letras diferentes dentro de una columna indican diferencias significativas  $p < 0.05$

#### 4.5.2. pH

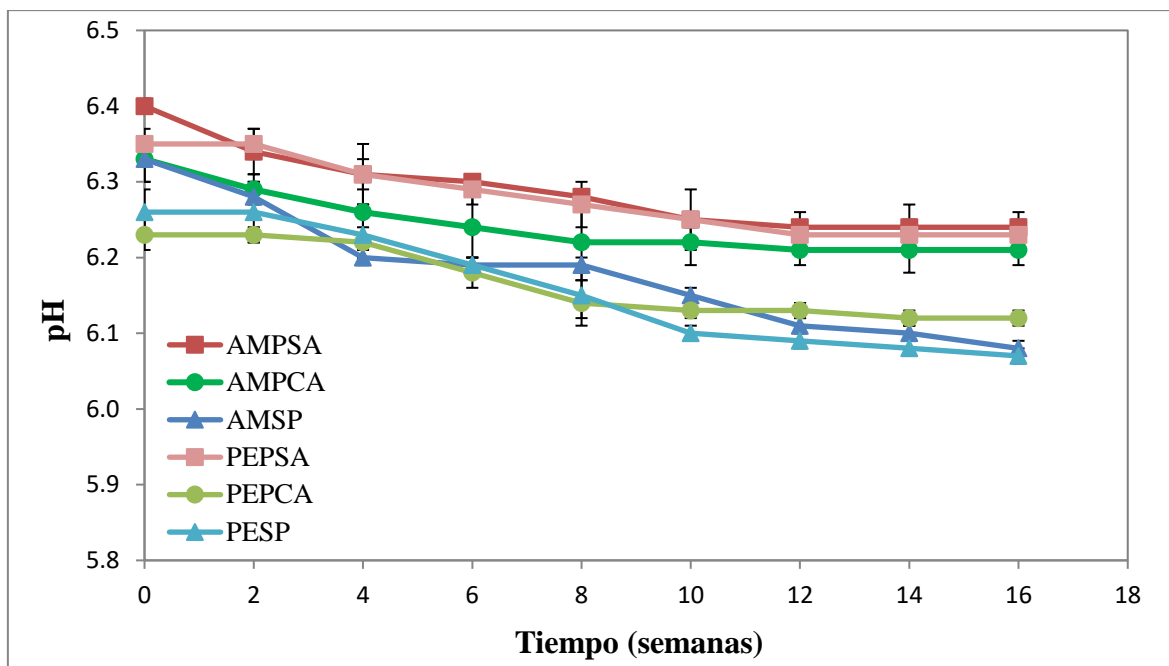
En la Figura 25 se muestran los resultados obtenidos del pH de las muestras almacenadas en congelación durante 16 semanas. Se observa en todos los tratamientos que el pH de la papa cocida, prensada y congelada disminuye significativamente ( $P < 0.05$ ) (ANEXO 11), aunque con una estabilización después de la semana 12, aproximadamente. En general, el pH inicial estuvo comprendido entre 6.23-6.40 y tras las 16 semanas de almacenamiento congelado, se redujo a 6.07-6.24. estos valores son similares a lo reportado por Fernández et al. (2009) en puré de papa de la variedad Kennebec (6.20) con una también tendencia decreciente con el tiempo de almacenamiento (6.17). Entre todos los tratamientos, las muestras tratadas con

ácido cítrico (AMPCA y PEPCA) fueron las que presentaron menor variación del pH después de 16 semanas de almacenamiento (0.12 y 0.11 respectivamente).

**Tabla 17. Valores de pH durante el almacenamiento para los tratamientos aplicados**

| Trat. | Semana       | pH             | Trat.        | Semana       | pH            |
|-------|--------------|----------------|--------------|--------------|---------------|
| AMSP  | 0            | 6.33 ± 0.03a   | AMPSA        | 0            | 6.4 ± 0.01a   |
|       | 2            | 6.28 ± 0.02b   |              | 2            | 6.34 ± 0.03b  |
|       | 4            | 6.20 ± 0.02c   |              | 4            | 6.31 ± 0.02bc |
|       | 6            | 6.19 ± 0.01c   |              | 6            | 6.3 ± 0.01c   |
|       | 8            | 6.19 ± 0.01c   |              | 8            | 6.28 ± 0.01cd |
|       | 10           | 6.15 ± 0.01d   |              | 10           | 6.25 ± 0.01de |
|       | 12           | 6.11 ± 0.01e   |              | 12           | 6.24 ± 0.02e  |
|       | 14           | 6.10 ± 0.01ef  |              | 14           | 6.24 ± 0.03e  |
| AMPCA | 16           | 6.08 ± 0.01f   | 16           | 6.24 ± 0.02e |               |
|       | 0            | 6.33 ± 0.03a   | PESP         | 0            | 6.26 ± 0.03a  |
|       | 2            | 6.29 ± 0.02ab  |              | 2            | 6.26 ± 0.04a  |
|       | 4            | 6.26 ± 0.05bc  |              | 4            | 6.23 ± 0.04ab |
|       | 6            | 6.24 ± 0.05bc  |              | 6            | 6.19 ± 0.01bc |
|       | 8            | 6.22 ± 0.05c   |              | 8            | 6.15 ± 0.03c  |
|       | 10           | 6.22 ± 0.03c   |              | 10           | 6.1 ± 0.01d   |
|       | 12           | 6.21 ± 0.02c   |              | 12           | 6.09 ± 0.01d  |
| 14    | 6.21 ± 0.03c | 14             |              | 6.08 ± 0.01d |               |
| PEPSA | 16           | 6.21 ± 0.02c   | 16           | 6.07 ± 0.01d |               |
|       | 0            | 6.35 ± 0.02a   | PEPCA        | 0            | 6.23 ± 0.02a  |
|       | 2            | 6.35 ± 0.02a   |              | 2            | 6.23 ± 0.01a  |
|       | 4            | 6.31 ± 0.04ab  |              | 4            | 6.22 ± 0.02a  |
|       | 6            | 6.29 ± 0.02bc  |              | 6            | 6.18 ± 0.02b  |
|       | 8            | 6.27 ± 0.03bcd |              | 8            | 6.14 ± 0.03c  |
|       | 10           | 6.25 ± 0.04cd  |              | 10           | 6.13 ± 0.01c  |
|       | 12           | 6.23 ± 0.01d   |              | 12           | 6.13 ± 0.01c  |
| 14    | 6.23 ± 0.02d | 14             |              | 6.12 ± 0.01c |               |
| 16    | 6.23 ± 0.02d | 16             | 6.12 ± 0.01c |              |               |

Promedio de tres repeticiones ± DS; letras diferentes dentro de una columna y fila de tratamiento indican diferencias significativas  $p < 0.05$

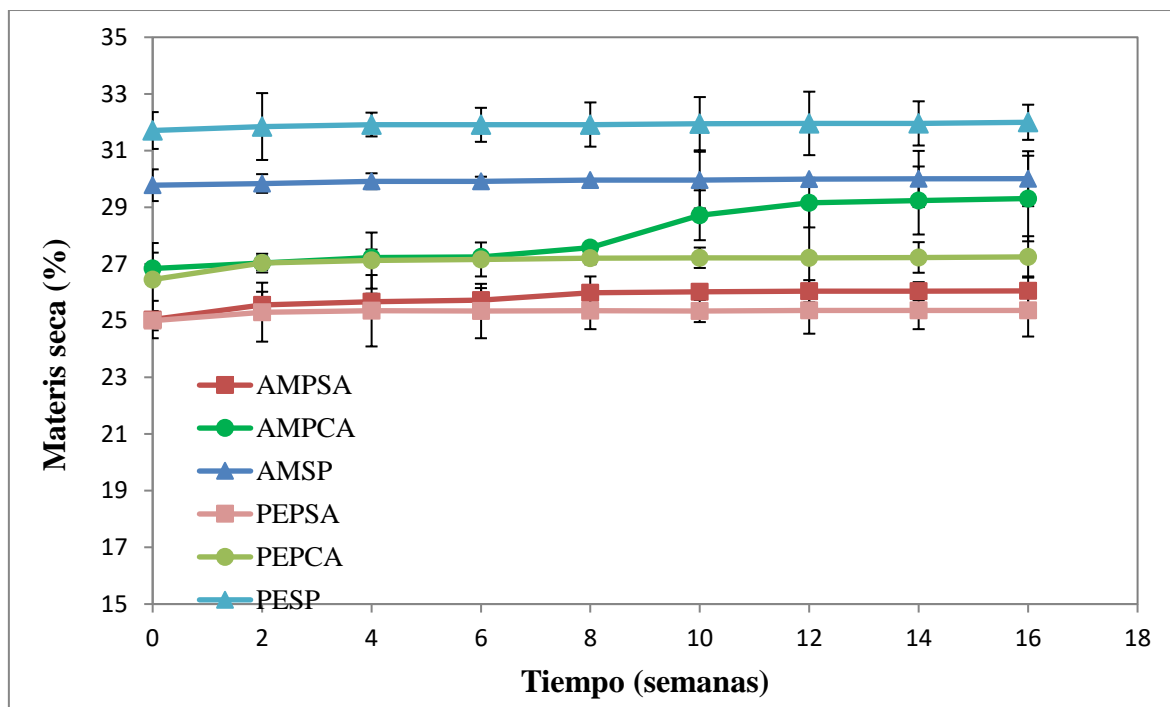


**Figura 25. Variación del pH de los tratamientos durante su almacenamiento en congelación.**

#### 4.5.3. MATERIA SECA

Los resultados del contenido de materia seca en los diferentes tratamientos se muestran en la Figura 26. Las papas cocidas sin pelar (SP) presentan mayor porcentaje inicial de sólidos totales, siendo 29.78% y 31.71% para las variedades Amarilla Tumbay y Peruanita, respectivamente, probablemente la cáscara generaría una barrera a la lixiviación de sólidos y otros compuestos durante la cocción. Por otro lado, durante el almacenamiento se observa en todos los tratamientos un ligero incremento en el porcentaje de materia seca, siendo más significativo en las muestras tratadas con ácido cítrico, alcanzando incrementos de 2.47% y 0.8% para AMPCA y PEPCA, respectivamente. Este resultado se debe principalmente a la pérdida del agua superficial del producto durante el almacenamiento en congelación, provocada por diferencia de presiones de vapor, lo que causa deshidratación del alimento (Fernández et al., 2009; Álvarez et al., 2005). La sublimación de hielo en la superficie del producto puede producirse a lo largo de la conservación de aquellos productos que no se han envasado adecuadamente y es acelerada por fluctuaciones de la temperatura, causando la desecación del mismo con la consiguiente acumulación del agua extraída en forma de escarcha en el interior del envase (Canet, 1988), No obstante la magnitud de esta

deshidratación no es del orden reportados por otras investigaciones, en los que implica modificaciones en propiedades importantes como la textura, esto debido principalmente por la baja fluctuación de la temperatura durante el almacenamiento.



**Figura 26. Variación del contenido de materia seca (%) de los tratamientos durante su almacenamiento en congelación**

#### 4.5.4. PRUEBAS REOLÓGICAS OSCILATORIAS

Las pruebas del barrido de amplitud indican que en ambas variedades y los tratamientos estudiados la región de viscoelasticidad lineal se encuentra en el rango de 1 – 10 Pa por lo que se seleccionó 1 Pa como esfuerzo de cizalla para continuar con las pruebas de barrido de frecuencia. En la Figura 4 se presenta el barrido de amplitud para la variedad Amarilla Tumbay, donde se observa que la extensión de la región de viscoelasticidad lineal se diferencia entre los tratamientos SP, PSA PCA. La extensión de la región de viscoelasticidad lineal puede ser usado como un índice de estabilidad y extensibilidad del material (Campo-Deaño *et al.* 2009). El tratamiento sin pelar (AMSP) presenta cambios en ambos módulos a mayores esfuerzos de cizalla que los tratamientos con pelado (AMPCA, AMPSA) lo que



indicaría la facilidad en la ruptura de la estructura del gel en éstos últimos. En la Tabla 16 se observa los parámetros de viscoelasticidad calculados a la frecuencia de 1 rad/s.

El ángulo de fase  $\delta$  se mantuvo dentro del rango viscoelástico, con valores entre 7.4 y 12.6° y con una disminución al final del almacenamiento, manteniéndose sin diferencias significativas a partir de la semana 8. La variedad Peruanita presentó los mayores valores del ángulo  $\delta$  para los tratamientos de la papa cocida pelada con adición de ácido cítrico en el tiempo 0, durante y al final del almacenamiento (12.6 a 10.0°). Mayores valores del ángulo  $\delta$  significan que el alimento se acerca más hacia una tendencia fluida. En tanto que para la misma variedad el tratamiento de cocción sin pelar presentó mayor acercamiento a un comportamiento elástico con menores valores del ángulo  $\delta$  (9.83 a 8.3°) (Ozkan *et al.* 2002). Un ángulo de fase ( $\delta$ ) de 90° indica que el material es completamente viscoso mientras que un material elástico se caracteriza por valores del ángulo de fase próximos a 0° (Ahmed y Ramaswamy 2006a, Ahmed y Ramaswamy 2006b).

La variedad Amarilla Tumbay presentó en general menores valores de ángulo de fase  $\delta$  (10.7 a 7.4°). Álvarez *et al.* (2004) reportaron un valor del ángulo  $\delta$  de 11.7 para puré de papa congelado/descongelado y llevado hasta 55°C.

En la misma Tabla 18 se observa que  $G'$  fue siempre mayor que  $G''$  lo que indica que las propiedades elásticas dominan a las viscosas (Augusto *et al.* 2012) así como una disminución de la viscosidad compleja ( $\eta^*$ ). Esta misma tendencia fue reportada por Fernández (2008) con preparaciones de purés de papas con otros ingredientes (leche, sal, crioprotectores) frescos, congelado/descongelado, indicando la confirmación de la naturaleza pseudoplástica del producto.

**Tabla 18. Valores de los parámetros de viscoelasticidad durante el almacenamiento de los tratamientos**

| Trat (semana) | G' (Pa)*          | G'' (Pa)*       | n'            | k' (Pa.s <sup>n'</sup> ) | n''           | k'' (Pa.s <sup>n''</sup> ) | δ (°)*        |
|---------------|-------------------|-----------------|---------------|--------------------------|---------------|----------------------------|---------------|
| PESP          |                   |                 |               |                          |               |                            |               |
| 0             | 2145.1 ± 98.4 a   | 373.0 ± 21.6 a  | 0.13 ± 0.01 a | 2051.9 ± 77.4 a          | 0.20 ± 0.01 a | 347.2 ± 28.4 a             | 9.8 ± 0.5 a   |
| 4             | 2291.1 ± 131.3 b  | 346.3 ± 9.6 b   | 0.13 ± 0.01 a | 2178.2 ± 103.1 a         | 0.20 ± 0.01 a | 334.4 ± 24.2 a             | 8.6 ± 0.5 b   |
| 8             | 2301.1 ± 39.0 b   | 336.0 ± 14.6 b  | 0.13 ± 0.00 a | 2191.4 ± 104.1 a         | 0.20 ± 0.01 a | 329.3 ± 28.0 a             | 8.3 ± 0.2 b   |
| 12            | 2305.1 ± 37.0 b   | 335.0 ± 8.8 b   | 0.13 ± 0.00 a | 2194.1 ± 100.0 a         | 0.20 ± 0.01 a | 328.3 ± 23.6 a             | 8.3 ± 0.1 b   |
| 16            | 2305.1 ± 37.4 b   | 334.6 ± 10.2 b  | 0.13 ± 0.00 a | 2195.6 ± 102.0 a         | 0.20 ± 0.01 a | 328.0 ± 28.9 a             | 8.3 ± 0.1 b   |
| PEPCA         |                   |                 |               |                          |               |                            |               |
| 0             | 1186.2 ± 39.5 a   | 272.2 ± 1.0 a   | 0.16 ± 0.05 a | 1105.2 ± 71.8 a          | 0.19 ± 0.04 a | 248.8 ± 19.9 a             | 12.6 ± 0.3 a  |
| 4             | 1269.6 ± 109.9 ab | 228.6 ± 16.2 b  | 0.14 ± 0.02 a | 1209.6 ± 35.9 b          | 0.22 ± 0.01 a | 218.7 ± 9.5 b              | 10.2 ± 0.4 b  |
| 8             | 1292.6 ± 40.6 b   | 227.6 ± 9.8 b   | 0.14 ± 0.01 a | 1232.6 ± 66.1 b          | 0.23 ± 0.01 a | 217.2 ± 15.3 b             | 10.0 ± 0.5 b  |
| 12            | 1297.4 ± 116.5 b  | 226.9 ± 2.8 b   | 0.14 ± 0.01 a | 1237.2 ± 41.3 b          | 0.23 ± 0.03 a | 216.9 ± 12.4 b             | 10.0 ± 0.4 b  |
| 16            | 1363.3 ± 53.8 b   | 226.4 ± 9.4 b   | 0.14 ± 0.01 a | 1238.1 ± 38.6 b          | 0.23 ± 0.02 a | 216.8 ± 10.9 b             | 10.0 ± 0.5 b  |
| PEPSA         |                   |                 |               |                          |               |                            |               |
| 0             | 854.1 ± 5.4 a     | 186.3 ± 36.7 a  | 0.15 ± 0.03 a | 819.1 ± 52.8 a           | 0.20 ± 0.03 a | 166.5 ± 11.9 a             | 12.1 ± 2.1 a  |
| 4             | 856.1 ± 58.4 a    | 155.3 ± 14.7 ab | 0.13 ± 0.01 a | 841.6 ± 66.5 a           | 0.22 ± 0.02 a | 146.7 ± 12.3 a             | 10.2 ± 1.3 ab |
| 8             | 866.3 ± 38.6 a    | 155.1 ± 7.9 ab  | 0.13 ± 0.01 a | 848.3 ± 47.3 a           | 0.23 ± 0.01 a | 145.9 ± 11.5 a             | 10.1 ± 0.9 ab |
| 12            | 879.9 ± 37.1 a    | 147.8 ± 12.4 b  | 0.13 ± 0.01 a | 849.7 ± 41.9 a           | 0.23 ± 0.02 a | 145.8 ± 12.9 a             | 10.5 ± 0.6 ab |
| 16            | 881.6 ± 66.8 a    | 144.5 ± 13.0 b  | 0.13 ± 0.01 a | 849.9 ± 42.2 a           | 0.23 ± 0.02 a | 145.7 ± 11.6 a             | 9.4 ± 1.5 b   |

<<continuación>>

---

| AMSP  |                  |                 |               |                  |                |                 |              |
|-------|------------------|-----------------|---------------|------------------|----------------|-----------------|--------------|
| 0     | 2871.3 ± 195.7 a | 456.1 ± 15.9 a  | 0.15 ± 0.03 a | 2563.5 ± 100.8 a | 0.17 ± 0.03 a  | 460.8 ± 22.1 a  | 10.7 ± 0.9 a |
| 4     | 2817.8 ± 59.4 a  | 460.8 ± 36.2 ab | 0.14 ± 0.01 a | 2640.4 ± 107.2 a | 0.19 ± 0.00 ab | 417.9 ± 34.7 ab | 9.3 ± 0.5 b  |
| 8     | 2792.9 ± 109.6 a | 420.7 ± 28.2 b  | 0.13 ± 0.01 a | 2663.8 ± 107.2 a | 0.21 ± 0.02 ab | 398.9 ± 28.2 b  | 8.7 ± 0.9 bc |
| 12    | 2792.4 ± 90.7 a  | 404.7 ± 7.2 b   | 0.13 ± 0.01 a | 2668.5 ± 102.6 a | 0.21 ± 0.03 ab | 395.1 ± 26.4 b  | 8.4 ± 0.1 bc |
| 16    | 2788.9 ± 77.9 a  | 402.2 ± 8.7 b   | 0.13 ± 0.01 a | 2669.4 ± 104.9 a | 0.22 ± 0.02 b  | 394.0 ± 35.6 b  | 8.3 ± 0.2 c  |
| AMPCA |                  |                 |               |                  |                |                 |              |
| 0     | 2410.4 ± 25.7 a  | 442.9 ± 53.1 a  | 0.14 ± 0.03 a | 2189.9 ± 88.3 a  | 0.17 ± 0.05 a  | 393.0 ± 14.3 a  | 10.6 ± 1.8 a |
| 4     | 2577.3 ± 68.3 b  | 367.2 ± 5.4 b   | 0.14 ± 0.00 a | 2445.7 ± 23.9 b  | 0.20 ± 0.01 ab | 349.3 ± 25.9 b  | 8.0 ± 0.2 b  |
| 8     | 2639.0 ± 92.4 b  | 344.2 ± 26.8 b  | 0.13 ± 0.01 a | 2493.1 ± 84.0 b  | 0.25 ± 0.01 b  | 348.7 ± 17.1 b  | 7.5 ± 0.3 b  |
| 12    | 2657.3 ± 100.2 b | 344.1 ± 29.6 b  | 0.12 ± 0.01 a | 2502.5 ± 54.0 b  | 0.25 ± 0.03 b  | 348.5 ± 21.5 b  | 7.4 ± 0.9 b  |
| 16    | 2658.3 ± 101.0 b | 344.0 ± 28.2 b  | 0.12 ± 0.01 a | 2504.4 ± 39.0 b  | 0.25 ± 0.02 b  | 348.5 ± 23.7 b  | 7.4 ± 0.3 b  |
| AMPSA |                  |                 |               |                  |                |                 |              |
| 0     | 2119.6 ± 131.6 a | 474.1 ± 37.9 a  | 0.13 ± 0.03 a | 1987.6 ± 50.0 a  | 0.15 ± 0.06 a  | 344.8 ± 30.0 a  | 10.3 ± 1.5 a |
| 4     | 2356.8 ± 25.7 b  | 377.0 ± 10.4 b  | 0.11 ± 0.02 a | 2349.4 ± 98.8 b  | 0.17 ± 0.01 a  | 330.4 ± 27.2 a  | 9.1 ± 0.7 a  |
| 8     | 2459.2 ± 87.0 b  | 390.6 ± 31.0 b  | 0.12 ± 0.00 a | 2406.1 ± 93.0 b  | 0.20 ± 0.01 a  | 329.8 ± 24.7 a  | 9.1 ± 0.4 a  |
| 12    | 2424.8 ± 27.1 b  | 390.7 ± 30.7 b  | 0.10 ± 0.01 a | 2417.5 ± 105.9 b | 0.20 ± 0.03 a  | 329.7 ± 28.9 a  | 9.1 ± 0.6 a  |
| 16    | 2424.8 ± 32.9 b  | 390.7 ± 30.5 b  | 0.10 ± 0.01 a | 2419.7 ± 99.4 b  | 0.20 ± 0.02 a  | 329.7 ± 26.1 a  | 9.1 ± 0.6 a  |

---

Promedio de tres repeticiones ± DS; letras diferentes en la misma columna y fila de tratamiento indican cambios significativos ( $p < 0.05$ )

\* Los valores reportados de  $G'$ ,  $G''$  y  $\delta$  fueron calculados a una frecuencia de 1rad/s.

Los módulos de almacenamiento y pérdida y la frecuencia oscilatoria presentaron un buen ajuste al modelo de tipo ley de la potencia, con  $r^2$  mayores a 0.92. En la Tabla 16 se presentan los valores de los parámetros  $n'$ ,  $k'$ ,  $n''$ ,  $k''$ .

Todos los tratamientos presentaron pendientes de baja magnitud con rangos de 0.17-0.25 y 0.10-0.16 para  $n''$  y  $n'$  respectivamente, valores cercanos a los reportados para purés de papas a temperaturas entre 25 – 55°C de 0.049 – 0.193 y 0.064 – 0.111 y para  $n'$  y  $n''$  respectivamente (Álvarez *et al.* 2007). Los valores de  $n''$  fueron mayores que  $n'$ , indicando una dependencia superior de  $G''$  con la frecuencia, y que el comportamiento viscoso se hace más importante a altas frecuencias mientras que el comportamiento elástico es más independiente de la frecuencia (Augusto *et al.* 2011, Rao 2014). También, es interesante notar que, al transcurrir el tiempo, en todos los tratamientos los valores  $n'$  van disminuyendo mientras que los valores de  $n''$  van en aumento, a pesar de que estas diferencias no sean significativas ( $p > 0.05$ ) excepto en los valores de  $n''$  para AMPCA. Esta tendencia claramente demuestra que el comportamiento viscoso se vuelve aún más importante al ser almacenados más tiempo; y que, a la vez, se atenúa la independencia del comportamiento elástico hacia la frecuencia oscilatoria en los productos (Augusto *et al.* 2012)

Los geles débiles y las soluciones altamente concentradas presentan pendientes positivas con valores de  $G'$  superiores a los de  $G''$  en un amplio intervalo de frecuencia (Ross-Murphy 1984). Con esto se puede indicar que los tratamientos estudiados se comportan como geles débiles, similar comportamiento fue reportado para productos como pasta de almidón de maíz, puré de camote y purés de vegetales (Hirashima *et al.* 2004, Ahmed y Ramaswamy 2006 a, Ahmed y Ramaswamy 2006b). Doublier y Cuvelier (1996) señalan que este comportamiento es característico de dispersiones macromoleculares en donde las asociaciones de segmentos ordenados de cadenas dan lugar a una red tridimensional débil.

Álvarez *et al.* (2005) atribuyen que este efecto de cambio está relacionado con las recristalizaciones, asociadas con cambios en el tamaño, número, forma y orientación de los cristales de hielo, causadas posiblemente por ligeras fluctuaciones de la temperatura al aumentar el tiempo de conservación al estado congelado. Ello es probablemente la causa de un mayor grado de ruptura y daño mecánico en la estructura celular.

En cuanto a los valores de  $k'$  y  $k''$  se puede observar que, en todos los tratamientos, los valores  $k'$  son mayores que los de  $k''$  demostrando nuevamente que las propiedades elásticas del

alimento prevalecen sobre las viscosas (Rao 2014). Es interesante notar que, en las dos variedades estudiadas, las papas que fueron cocidas sin pelar (SP) tuvieron valores más altos de  $k'$  y  $k''$  respecto a los otros dos tratamientos; mientras que las papas que fueron cocidas sin cáscara y sin tratamiento ácido (PSA) fueron las que obtuvieron menos valores de  $k'$  y  $k''$ . Este resultado estaría relacionado con el mayor contenido de materia seca obtenido en este trabajo, para las papas cocidas con cáscara, prensadas, congeladas/descongeladas. Augusto *et al.* (2011) mencionan que los alimentos con mayor contenido de fibra aumentan sus propiedades viscoelásticas debido a las interacciones moleculares entre celulosa/hemicelulosa y pectinas en células vegetales de la pared celular, siendo la cáscara una fuente de fibra (Carpita y Gibeaut 1993, MINSA 2009, Zykwinska *et al.* 2005), se podría pensar que ésta tiene una influencia en los valores hallados. El contenido de fibra de las variedades Tumbay y Peruanita es de 6.2 y 5.1 mg respectivamente (MINSA 2009) lo que explicaría por qué los valores de  $k'$  y  $k''$  de la variedad Amarilla Tumbay fueron algo mayores que los de variedad Peruanita.

Se nota también que en algunos tratamientos (PESP, PEPSA) los valores de  $k'$  y  $k''$  no presentaron diferencias significativas con el almacenamiento o en la mayoría de los casos el comportamiento de estos parámetros no varió a partir de las 4 semanas de almacenamiento.

## V. CONCLUSIONES

1. La temperatura inicial de congelación para los tratamientos de papa amarilla cocida y prensada se encontró en el rango de  $-0.80$  y  $-1.05$  °C, en tanto que la velocidad de congelación se mantuvo entre  $2.5$  a  $3.5$  °C/h y presentó los menores valores para los tratamientos provenientes de papas cocidas sin pelar.
2. Las características de los tratamientos obtenidos a partir de papas amarillas Tumbay y Peruanita cocidas y prensadas, fueron ligeramente afectadas por la congelación, lo que fue confirmado por cambios significativos en el color, pH, umbral de fluencia, viscoelasticidad y textura:
  - 2.1. Todos los tratamientos congelados, obtenidos a partir de las variedades Amarilla Tumbay y Peruanita, tuvieron diferencias significativas en las medidas del color  $L^*a^*b^*$  con respecto a las muestras sin congelar, sin embargo, el  $\Delta E^*$  fue para todos los tratamientos menor a 3 (cambio imperceptible para el ser humano).
  - 2.2. El pH de los tratamientos de papa cocida y prensada, aumentó ligeramente con un promedio de 0.08 después de la congelación y descongelación, mientras que el contenido de materia seca se mantuvo constante.
  - 2.3. El *yield stress* (umbral de fluencia), fue mayor para los tratamientos obtenidos de papas cocidas sin pelar, dentro de la misma variedad de papa empleada. Para este tratamiento se observó también la mayor disminución del umbral de fluencia después de la congelación y descongelación.
  - 2.4. En las características viscoelásticas, en todos los tratamientos frescos y congelados-descongelados, las propiedades elásticas fueron dominantes puesto que los valores  $G'$  fueron superiores a los de  $G''$  en todo el intervalo de frecuencia estudiado. En cuanto a la textura, el análisis TPA presentó una disminución significativa de los valores de dureza y adhesividad en la mayoría de los tratamientos luego de ser

congelados-descongelados. Sin embargo, este ciclo no afectó significativamente ( $p>0.05$ ) en las características de cohesividad, elasticidad y gomosidad en su mayoría.

3. Todos los tratamientos de papa cocida, prensada y congelada durante el almacenamiento en congelación se mantuvieron estables en los valores de color hasta la cuarta semana, los valores de pH disminuyeron ligeramente hasta la duodécima semana, el contenido de materia seca se mantuvo constante y las propiedades viscoelásticas se estabilizaron a partir de la cuarta semana.
4. En general se podría decir que el producto puede mantenerse en congelación durante 16 semanas, bajo las condiciones del estudio; siendo las papas cocidas sin cáscara y sin tratamiento ácido las que presentaron en general una mayor estabilidad durante el almacenamiento en congelación en las propiedades de materia seca, pH, color y propiedades viscoelásticas.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- La investigación estudió la viabilidad de los productos utilizando métodos de congelación y descongelación lentas; sin embargo, para una toma de decisión más exacta de la tecnología a utilizar se sugiere evaluar los diferentes métodos de congelación y descongelación existentes y su efecto en los productos.
- Para un mayor costo/beneficio de producción, se sugiere utilizar equipos industrializados como peladores de papas para que el alimento tenga el menor contacto posible con el personal de producción y se ahorre en mano de obra.
- Realizar un análisis sensorial al inicio y durante el almacenamiento en congelación de los tratamientos.
- Ensayar pruebas sensoriales para saber qué cantidades se debe agregar de los ingredientes para la preparación de los potajes, como puré o la causa, y que vayan en la etiqueta como “sugerencia de preparación o receta”.



## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Adekunte, A.; Tiwari, B.; Cullen, P.; Scannell, A.; O'Donnell, C. (2010). Effect of sonication on colour, ascorbic acid and yeast inactivation in tomato juice. *Food Chemistry*, 122 (3): 500-507. doi: 10.1016/j.foodchem.2010.01.026
- Ahmed, J. & Ramaswamy, H. (2006a). Viscoelastic properties of sweet potato puree infant food. *Journal of Food Engineering*, 74(3): 376–382. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2005.03.010
- Ahmed, J. & Ramaswamy, H. (2006b). Viscoelastic and thermal characterization of vegetable puree-based baby foods. *Journal of Food Process. Engineering*, 29(3): 219-233. doi: 10.1111/j.1745-4530.2006.00059.x
- Álvarez, M. & Repo, R. (1999). Desarrollo de productos de papas nativas. Lima, Perú: Centro Internacional de la papa.
- Álvarez, M.D. & Canet, W. (1999). Rheological properties of mashed potatoes made from dehydrated flakes: effect of ingredients and freezing. *European Food Research and Technology*, 209(5): 335-342. doi: 10.1007/s002170050505
- Álvarez, M.D. & Canet, W. (2000). Storage time effect on the rheology of refrigerated potato tissue (cv. Monalisa). *European food Research and Technology*, 212(1): 48-56. doi: 10.1007/s002170000246
- Álvarez, M.D. & Canet, W. (2001a). Influence of cooking and freeze-thaw cycles on viscoelastic properties of vegetable purees. *LWT-Food Science and technology*, 34(8): 549-555. doi: 10.1006/fstl.2001.0805
- Álvarez, M.D. & Canet, W. (2001b). Rheological properties of frozen vegetables purees. Effect of freeze-thaw cycles and thawing conditions. *European Food Research and Technology*, 213: 30-37. doi: 10.1007/s002170100314
- Álvarez, M.D.; Canet, W.; Fernández, C. (2007). The effect of temperature, geometry, gap and surface friction on oscillatory rheological properties of mashed potatoes. *Journal of Food Process Engineering*, 30(3): 267-292. doi: 10.1111/j.1745-4530.2007.00120.x

- Álvarez, M.D.; Fernández, C.; Canet, W. (2004). Rheological behaviour of fresh and frozen potato puree in steady and dynamic shear at different temperatures. *European Food Research and Technology* 218(6): 544-553. doi: 10.1007/s00217-004-0897-2
- Álvarez, M.D.; Fernández, C.; Canet, W. (2005). Effect of freezing/thawing conditions and long-term frozen storage on the quality of mashed potatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(14): 2327–2340. doi: 10.1002/jsfa.2264
- Álvarez, E.; Cancela, M.A.; Delgado-Bastidas, N. y Maceiras, R. (2008). Rheological characterization of commercial baby fruit purees. *International Journal of Food Properties*, 11(2): 321-329. doi: 10.1080/10942910701359424
- Álvarez, M.D.; Fernández, C.; Solas, M.T.; Canet, W. (2011). Viscoelasticity and microstructure of inulin-enriched potatoes: influence of freezing and cryoprotectants. *Journal of Food Engineering*, 102(1): 66-76. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2010.08.006
- Añón, M. & Calvelo, A. (1980). Freezing rates effects on the drip loss of frozen beef. *Meat Science* 4(1): 1-14. doi: 10.1016/0309-1740(80)90018-2
- Arocas, A. (2008). Influencia de la modificación del almidón en las propiedades reológicas de una salsa blanca después del calentamiento y la congelación (Tesis de maestría, Universitat Politècnica de València). Recuperada de <http://hdl.handle.net/10251/12621>
- Augusto, P.; Cristianini M.; Ibarz, A. (2012). Effect of temperature on dynamic and steady-state shear rheological properties of siriguela (*Spondias purpurea* L.) pulp. *Journal of Food Engineering*, 108(12): 283-289. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2011.08.015
- Augusto, P.; Falguera, V.; Cristianini, M.; Ibarz, A. (2011). Influence of fibre addition on the rheological properties of peach juice. *International Journal of Food Science & Technology*, 46(5): 1086-1092. doi: 10.1111/j.1365-2621.2011.02593.x
- AZO MATERIALS. (noviembre, 2015). Determining and understanding the yield stress of complex fluids. Recuperado de <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=12448>
- Badui, S. (2006). *Química de los alimentos* (4<sup>o</sup> ed.). Juárez, México: Pearson Educación.
- Barnes, H. A., Hutton, J. F.; Walters, K. (1989). *An introduction to rheology: Volume 3*. Oxford, Reino Unido: Elsevier.

- Bellumori, M.; Innocenti, M.; Michelozzi, M.; Cerretani, L.; Mulinacci, N. (2017). Coloured-fleshed potatoes after boiling: promising sources of known antioxidant compounds. *Journal of Food Composition and Analysis*, 59: 1-7. doi: 10.1016/j.jfca.2017.02.004
- Betalleluz, I. & Velezmoro, C. (2001). Predicción del punto inicial de congelación de jugos de granada (*Punica granatum* L.), granadilla (*Passiflora nítida* H.B.K.), sandía (*Citrullus lanatus*) y uva (*Vitis vinifera*). *Anales Científicos UNALM*, 49: 37-53.
- Bevilacqua, A.E. & Zaritzky, N.E. (1980). Ice morphology in frozen beef. *International Journal of Food Science & Technology*, 15(6): 589-597. doi: 10.1111/j.1365-2621.1980.tb00978.x
- Bevilacqua, A.E.; Zaritzky, N.E.; Calvelo, A. (1979). Histological measurements of ice in frozen beef. *International Journal of Food Science & Technology*, 14(3): 237-251. doi: 10.1111/j.1365-2621.1979.tb00868.x
- Bourne, M. (2002). *Food texture and viscosity. Concept and measurement* (2<sup>o</sup> ed.). Recuperado de: [https://www.academia.edu/38698369/Food\\_Texture\\_and\\_Viscosity\\_Concept\\_and\\_Measurement](https://www.academia.edu/38698369/Food_Texture_and_Viscosity_Concept_and_Measurement)
- Calder, E.; Cowles, E.; Davis-Dentici, K.; Bushway, A. (2012). The effectiveness of antibrowning dip treatments to reduce after-cooking darkening in potatoes. *Journal of Food Science*, 77(10). 342-347. doi: 10.1111/j.1750-3841.2012.02900.x
- Campo-Deaño, L.; Tovar, C.A.; Pombo, M.J.; Solas, M.T.; Borderías, A.J. (2009). Rheological study of giant squid surimi (*Dosidicus gigas*) made by two methods with different cryoprotectants added. *Journal of Food Engineering*, 94(1): 26-33. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2009.02.024
- Canet, W. (1988). Temperatura de conservación y calidad de vegetales congelados. *Alimentación, Equipos y Tecnología*, 7: 145-155.
- Canet, W. (1996). Estabilidad e importancia de la vitamina C en los vegetales congelados. *Alimentación, Equipos y Tecnología*, 15(5): 75-87.
- Canet, W. & Hill, M. (1987). Comparison of several blanching methods on the texture and ascorbic acid content of frozen potatoes. *International Journal of Food Science & Technology*, 22(3): 273-277. doi: 10.1111/j.1365-2621.1987.tb00488.x
- Canet, W.; Álvarez, M.D.; Fernández, C.; Luna, P. (2005). Comparisons of methods for measuring yield stresses in potato puree: effect of temperature and freezing. *Journal of Food Engineering*, 68(2): 143-153. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2004.05.039

- Carpita, N.C. & Gibeaut, D.M. (1993). Structural of primary cell walls in flowering plants: consistence of molecular structure with the physical properties of walls during growth. *The Plant Journal* 3(1): 1-30. doi: 10.1111/j.1365-313x.1993.tb00007.x
- Centro Internacional de la Papa [CIP]. (2006a). Catálogo de variedades de papa nativa de Huancavelica – Perú. [Adobe Digital Edition] Recuperado de <https://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/08/003524.pdf>
- Centro Internacional de la Papa [CIP]. (2006b). La Papa tesoro de los Andes. De la agricultura a la cultura. [Adobe digital Edition] Recuperado de [http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/05/la\\_papa\\_tesoro\\_de\\_los\\_andess.pdf](http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/05/la_papa_tesoro_de_los_andess.pdf)
- Chan, H.W. (1984). Rheological methods. En Society of Chemical Industry (ed.), *Biophysical Methods in Food Research* (p. 138-199). doi: 10.1002/star.19850370211
- Chang, Y.; Lim, S.; Yoo, B. (2004). Dynamic rheology of corn starch-sugar composites. *Journal of Food Engineering*, 64(4): 521-527. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2003.08.017
- Chen, Y.; Wang, C.; Chang, T.; Shi, L.; Yang, H.; Cui, M. (2013). Effect of salts on textural, color, and rheological properties of potato starch gels. *Starch-starke*, 66(14): 149-156. doi: 10.1002/star.201300041
- Daubert, C.R.; Tkachuk, J.A.; Truong, V.D. (1998). Quantitative measurement of food spreadability using the vane method. *Journal of Texture Studies*, 29(4): 427–435. doi: 10.1111/j.1745-4603.1998.tb00814.x
- Della-Rocca, P.; Roche, L.; Mascheroni, R. (2013). Estudio comparativo de la congelación de papa (*Solanum tuberosum* L.) sometida a diferentes pretratamientos. Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/73854>
- Deshpande, S.; Cheryan, H.R.; Sathe, S.K.; Salunkhe, D.K.; Luh, B.S. (1984). Freeze concentration of fruit juices. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 20(3): 173-248. doi: 10.1080/10408398409527389
- Doublier, J.L. & Choplin, L. (1989). A rheological description of amylose gelation. *Carbohydrate Research*, 193: 215-226. doi: 10.1016/0008-6215(89)85120-1
- Doublier, J.L. & Cuvelier, G. (1996). Gums and hydrocolloids: Functional aspect. En A.C. Eliasson (Ed.), *Carbohydrates in food* (p. 283-318). Estados Unidos: Marcel Dekker Inc.
- Drake, S.R.; Spayd, S.E.; Thompson, J.B. (1981). The influence of blanching and freezing methods on the quality of selected vegetables. *Journal of Food Quality*, 4(4): 271-278. doi: 10.1111/j.1745-4557.1981.tb00734.x

- Durán, L. (1997). Reología de alimentos sólidos y textura. Fundamentos de reología. Los materiales viscoelásticos. Aplicaciones a las industrias alimentarias y químico-farmacéuticas Volumen 2. Valencia, España: Universidad Internacional Menéndez Pelayo.
- Egúsqiza, B.R. (2000). La papa. Producción, transformación y comercialización. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Erickson, M.C. (1997). Lipid oxidation: flavor and nutritional quality deterioration in frozen foods. En M. Erickson y Hung Y. (Eds.), *Quality in frozen foods* (p. 141-173). doi: 10.1007/978-1-4615-5975-7
- Faulks, R. & Griffiths, N. (1983). Influence of variety, site and storage on physical, sensory and compositional aspects of mashed potato. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 34 (9): 979-986. doi: 10.1002/jsfa.2740340914
- Fennema, O. (2000). *Química de los alimentos* (2° ed.). España: Acribia S.A.
- Fernández, C.; Álvarez, M.D.; Canet, W. (2006). The effect of low-temperature blanching on the quality of fresh and frozen/thawed mashed potatoes. *International Journal of Food Science & Technology*, 41(5): 577-595. doi: 10.1111/j.1365-2621.2005.01119.x
- Fernández, C.F. (2008). Caracterización reológica y optimización de la textura de purés de patata frescos y congelados, efectos del proceso y adición de crioprotectores. (Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid). Recuperada de <https://eprints.ucm.es/id/eprint/9160/1/T30942.pdf>
- Fernández, C.; Álvarez, M.D.; Canet, W. (2008). Steady shear and yield stress data of fresh and frozen/thawed mashed potatoes: effect of biopolymers addition. *Food Hydrocolloids*, 22 (7) 1381-1395. doi: 10.1016/j.foodhyd.2007.08.003
- Fernández, C.; Canet, W.; Álvarez, M.D. (2009). The effect of long-term frozen storage on the quality of frozen and thawed mashed potatoes with added cryoprotectant mixtures. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(7): 1373–1387. doi: 10.1111/j.1365-2621.2009.01967.x
- Ferrero, C. & Zaritzky, N. (2000). Effect of freezing rate and frozen storage on starch-sucrose-hydrocolloid systems. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(14): 2149-2158. doi: 10.1002/1097-0010(200011)80:14<2149::AID-JSFA759>3.0.CO;2-B

- Fiszman, S. (1997). Propiedades mecánicas y textura de los alimentos. Fundamentos de reología. Los materiales viscoelásticos. Aplicaciones a las industrias alimentarias y químico-farmacéuticas Volumen 3. Valencia, España: Universidad Internacional Menéndez Pelayo.
- Food and Agriculture Organization [FAO]. (2008). Año internacional de la papa. Recuperado de <http://www.fao.org/potato-2008/es/lapapa/hojas.html>
- Francis, F. & Clydesdale, F. (1975). Food colorimetry: theory and applications. doi: 10.1002/food.19770210122
- Friedman, H.; Whitney, J.; Szczesniak, A. (1963). The texturometer - a new instrument for objective texture Measurement. *Journal of Food Science*, 28(4): 390-396. doi: 10.1111/j.1365-2621.1963.tb00216.x
- Friedman, M. (1984). Nutritional and toxicological aspects of food safety. Nueva York, Estados Unidos: Plenum.
- Friedman, M. (1997). Chemistry, biochemistry and dietary role of potato polyphenols. A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 45(5): 1523-1540. doi: 10.1021/jf960900s
- Guerrero, S.N. & Alzamora, S.M. (1998). Effect of pH, temperature and glucose addition on flow behaviour of fruit purees: II. Peach, papaya and mango purées. *Journal of Food Engineering*, 37(1): 77-101. doi: 10.1016/S0260-8774(98)00065-X
- Gormley, R.; Walshe, T.; Hussey, K.; Butler, F. (2002). The effect of fluctuating vs. constant frozen storage temperature regime on some quality parameters of selected food products. *LWT-Food Science and Technology*, 35(2): 190-200. doi: 10.1006/fstl.2001.0837
- Gutschmidt, J. (1968). Principles of freezing and low temperature storage, with particular reference to fruit and vegetables. En J. Hawthorn y E.J. Rolfe (Eds.), *Low Temperature Biology of Foodstuffs* (p. 299-318). doi: 10.1016/C2013-0-02196-2
- Hernández-Medina, M.; Torruco-Uco, J.G.; Chel-Guerrero, L.; Betancur-Ancona, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán México. *Food Science and Technology (Campinas)*, 28(3): 718-726. doi: 10.1590/S0101-20612008000300031
- Hijmans, R. (2003). The effect of climate change on global potato production. *American Journal of Potato Research*, 80: 271-280. doi: 10.1007/BF02855363

- Hirashima, M.; Takahashi, R.; Nishimari, K. (2004). Effects of citric acid on the viscoelasticity of corn starch pastes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(10): 2929-2933. doi: 10.1021/jf0347867
- Hirschler, R. (2012). Whiteness, yellowness, and browning in food colorimetry. En J.L. Caivano y M.P. Buera (Eds.), *Color in Food: Technological and Psychophysical Aspects* (p. 93-104). Florida, Estados Unidos: CRC Press.
- Hughes, J.C. & Evans, J.L. (1967). Studies on after-cooking blackening in potatoes IV. Field experiments. *European Potato Journal*, 10: 16-36. doi: 10.1007/BF02364255
- Icier, F.; Cokgezme, O.F.; Sabanci, S. (2016). Alternative thawing methods for the blanched/non-blanched potato cubes: microwave, ohmic, and carbon fiber plate assisted cabin thawing. *Journal of Food Process Engineering*, 40(2). Doi: 10.1111/jfpe.12403
- Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (30 de mayo de 2014). Producción de papa creció 45%. Recuperado de <https://www.inei.gob.pe/prensa/noticias/produccion-de-papa-crecio-45-7582/>
- International Institute of Refrigeration [IIR]. (2006). *Recommendations for the Processing and Handling of Frozen Foods* (4<sup>o</sup> ed.). París, Francia: Leif Bogh-Sorensen.
- Jul, M. (1982). The intricacies of their freezer chain. *International Journal of Refrigeration*, 5(4): 226-250.
- Kalichevsky, M.T.; Knorr, D.; Lillford, P.J. (1995). Potencial food applications of highpressure effects on ice-water transition. *Trends in Food Science & Technology*, 6(8): 253-259. doi: 10.1016/S0924-2244(00)89109-8
- Kaur, A; Singh, N; Ezekiel, R; Guraya, H. (2007). Physicochemical, thermal and pasting properties of starches separated from different potato cultivars grown at different locations. *Food Chemistry*, 101(2):643-651. doi: 10.1016/j.foodchem.2006.01.054
- Kim, R.H. & Eliasson, A. (1993). Changes in rheological properties of hydroxypropyl potato starch pastes during freeze-thaw treatments II. Effect of molar substitution and cross-linking. *Journal of Texture Studies*, 24(2): 199-213. doi: 10.1111/j.1745-4603.1993.tb00044.x
- Kim, Y.S.; Wiesenborn, D.P.; Orr, P.H.; Grant, L.A. (1995). Screening potato starch for novel properties using differential scanning calorimetry. *Journal of Food Science*, 60(5): 1060-1065. doi: 10.1111/j.1365-2621.1995.tb06292.x

- Kyereme, M.; Hale, S.A.; Farkas, E. (1999). Modeling the temperature effect on the flow behavior of sweet potato puree. *Journal of Food Process Engineering*, 22(3): 235-247. doi: 10.1111/j.1745-4530.1999.tb00483.x
- Lamua, M. (2000). *Aplicación del frío a los alimentos*. México: Ediciones Mundiprensa.
- Marti, J.L. & Aguilera, J.M. (1991). Efecto de la velocidad de congelación en las características mecánicas y microestructurales del arándano y de la mora silvestre. *Revista de agroquímica y tecnología de alimentos*, 31(4): 493-504.
- Martínez, J.; Málaga, A.; Betalleluz, I.; Ibarz, A.; Velezmoro, C. (2015). Caracterización funcional de almidones nativos obtenidos de papas (*Solanum phujera*) nativas peruanas. *Scientia Agropecuaria*, 6(4): 291-301. doi: 10.17268/sci.agropecu.2015.04.06
- Massa, A.; González, C.; Maestro, A.; Labanda, J.; Ibarz, A. (2010). Rheological characterization of peach purees. *Journal of Texture Studies*, 41(4): 532-548. doi: 10.1111/j.1745-4603.2010.00240.x
- Ministerio de Agricultura [MINSA] (mayo de 2011). La papa nuestra de cada día. Recuperado de [https://www.academia.edu/38620467/LA\\_PAPA\\_NUESTRA\\_DE\\_CADA\\_DIA](https://www.academia.edu/38620467/LA_PAPA_NUESTRA_DE_CADA_DIA)
- Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI]. (mayo 2017). Papa: Características de la Producción Nacional y de la Comercialización en Lima Metropolitana. Recuperado de <https://www.midagri.gob.pe/portal/analisis-economico/analisis-2017?download=11225:boletin-de-produccion-nacional-de-papa>.
- Ministerio de Salud [MINSAL] (2009). Tablas peruanas de composición de alimentos [versión Adobe Digital Editions]. Recuperado de <https://www.ins.gob.pe/insvirtual/images/otrpubs/pdf/Tabla%20de%20Alimentos.pdf>
- Montaldo, A. (1984). *Cultivo y mejoramiento de la papa*. Recuperado de <http://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/6793/BVE18039977e.pdf?sequence=1>.
- Monteros, C.; Cuestas, X.; Jiménez, J.; López, G. (2005). *Las papas nativas en el Ecuador* [versión Adobe Digital Editions]. Recuperado de <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/3327>
- Morales, S. (2011). *Crecimiento, contenido de azúcares y capacidad de brotación en semilla tubérculo de papa (Solanum tuberosum L.)* (Tesis doctoral). Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo-México.



- Mosneaguta, R.; Álvarez, V.; Barringer, S. (2012). The effect of antibrowning agents on inhibition of potato browning, volatile organic compound profile, and microbial inhibition. *Journal of Food Science*, 77(11): 234-240. doi: 10.1111/j.1750-3841.2012.02957.x
- Nieto, L. (2005). Gestión de marketing para posicionar la papa amarilla de Huánuco en el mercado de exportación (Tesis de maestría). Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Huánuco-Perú.
- Obregón A. & Repo, R. (2013). Evaluación fisicoquímica y bromatológica de cuatro variedades nativas de papa (*solanum* spp.). *Ciencia e Investigación*, 16(1): 38-40. doi: 10.15381/ci.v16i1.8634
- Ordinola, M. (2001). Nuevas experiencias en la exportación de papa: el caso de la papa amarilla peruana [Edición especial]. *Revista Latinoamericana de la Papa*, 12(1): 44 – 57.
- Orrego, C. (2008). Congelación y liofilización de alimentos [versión Adobe Digital Editions]. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Orrego-4/publication/288824364\\_CONGELACION\\_Y\\_LIOFILIZACION\\_DE\\_ALIMENTOS/links/56840ae208ae197583937707/CONGELACION-Y-LIOFILIZACION-DE-ALIMENTOS.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Orrego-4/publication/288824364_CONGELACION_Y_LIOFILIZACION_DE_ALIMENTOS/links/56840ae208ae197583937707/CONGELACION-Y-LIOFILIZACION-DE-ALIMENTOS.pdf)
- Ozkan, N.; Xin, H.; Chen, D. (2002). Application of a depth sensing indentation hardness test to evaluate the mechanical properties of food materials. *Journal of Food Science*, 67(5): 1814-1820. doi: 10.1111/j.1365-2621.2002.tb08728.x
- Pala, M. (1983). Stepwise blanching and its importance in freezing of vegetables. En *L'Association Pour Le Congrès International du Froid* (Ed.), XVIth International Congress of Refrigeration (p. 631–638). Recuperado de <https://iifir.org/en/fridoc/refrigeration-serving-humanity-proceedings-of-the-xvith-international-5748>
- Peña, C. y Restrepo, L. 2013. Compuestos fenólicos y carotenoides en la papa: revisión. *Actualización en Nutrición*, 14(1): 25-32. Recuperado de [http://www.revistasan.org.ar/pdf\\_files/trabajos/vol\\_14/num\\_1/RSAN\\_14\\_1\\_25.pdf](http://www.revistasan.org.ar/pdf_files/trabajos/vol_14/num_1/RSAN_14_1_25.pdf)
- Phinney, D.; Frelka, J.; Wickramasinghe, A.; Heldman, D. (2017). Effect of freezing rate and microwave thawing on texture and microstructural properties of potato (*Solanum tuberosum*). *Journal of Food Science*, 82(4):933-938. doi: 10.1111/1750-3841.13690

- Pons, M. & Fiszman, S. (1996). Instrumental texture profile analysis with particular reference to gelled systems. *Journal of Texture Studies*, 27(6): 597-624. doi: 10.1111/j.1745-4603.1996.tb00996.x
- Quintáns, L. (2008). Reología de productos alimentarios (Tesis doctoral, Universidade de Santiago de Compostela). Recuperada de [https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/2556/9788498872187\\_content.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/2556/9788498872187_content.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Rahman, A.R.; Henning, W.L.; Westcott, D.E. (1971). Histological and physical changes in carrots as affected by blanching, cooking, freezing, freeze-drying and compression. *Journal of Food Science*, 36(3): 500-502. doi: 10.1111/j.1365-2621.1971.tb06399.x
- Rahman, M.S. (1999). Handbook of food preservation. Editorial Rahman, M.S., Marcel Dekker, New York. Pp: 259–284.
- Rao, M.A. (1977). Rheology of liquid foods - a review. *Journal of Texture Studies*, 8(2): 135-168. doi: 10.1111/j.1745-4603.1977.tb01173.x
- Rao, M.A. (2005). Rheological properties of fluid foods. En M.A. Rao, Syed S.H. Rizvi y Ashim K. Datta (Eds), *Engineering Properties of Foods* (3<sup>o</sup> ed) (p. 41-91). Recuperado de <http://repository.ottimmo.ac.id/42/1/Engineering%20Properties%20of%20Foods.pdf>
- Rao, M.A. (2014) *Rheology of fluid and semisolid foods, principles and applications* (3<sup>o</sup> ed.). doi: 10.1007/978-1-4614-9230-6
- Redmond, G.A.; Butler F.; Gormley, T.R. (2002). The effect of freezing conditions on the quality of freeze-chilled reconstituted mashed potato. *LWT-Food Science and Technology*, 35(2): 201-204. doi: 10.1006/fstl.2001.0838
- Redmond, G.; Gormley, T.; Butler, F. (2003). The effect of short- and long-term freeze-chilling on the quality of mashed potato. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 4(1): 85-97. doi: 10.1016/S1466-8564(02)00082-6
- Reid, D.S. (1994). Basic physical phenomena in the freezing and thawing of plant and animal tissue. En C.P. Mallet (ed.), *Frozen Food Technology* (p. 1-19). Glasgow, Reino Unido: Blackie Academic and Professional.
- Rosalina, I. & Bhattacharya, M. (2002). Dynamic rheological measurements and analysis of starch gels. *Carbohydrate Polymers*, 48(2):191-202. doi: 10.1016/S0144-8617(01)00235-1

- Roudot, A. (2004). *Reología y Análisis de Textura de Alimentos*. Zaragoza, España: Acribia, S.A.
- Shafiur, M.; Guizani, N.; Al-Haseibi, M.; Ali, S.; Saleh, S.; Al-Hamhami, K. (2002). Analysis of cooling curve to determine the end point of freezing. *Food Hydrocolloids*, 16(6): 653-659. doi: 10.1016/S0268-005X(02)00031-0
- Silva, C.L.M.; Gonçalves, E.M.; Brandão, T.R.S. (2008). Freezing of Fruits and Vegetables. En J.A. Evans (ed.), *Frozen Food Science and Technology* (p. 165-184). Recuperado de [http://www.cold.org.gr/library/downloads/Docs/Frozen\\_Food\\_Science\\_and\\_Technology.pdf](http://www.cold.org.gr/library/downloads/Docs/Frozen_Food_Science_and_Technology.pdf)
- Singh, S.P.; Srivastava, A.K.; Steffe, J.F. (1991). Vibration induced setting of a sphere in a Herschel-Bukley fluid. *Journal of Food Engineering*, 13(3): 181-197. doi: 10.1016/0260-8774(91)90026-O
- Soni, P.L.; Sharma, H.; Srivasta, H.C.; Gharia, M.M. (1990). Physicochemical properties of *Canna edulis* starch - comparison with maize starch. *Starch-Starke*, 42(12): 460-464. doi: 10.1002/star.19900421203
- Sun, D. (2011). Quality and safety of frozen vegetables. En CRC Taylor & Francis Group (Ed.), *Handbook of frozen food processing and packaging* (p. 387-435). Recuperado de: <https://books.google.com.ec/books?id=sxzOBQAAQBAJ&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false>
- Szczesniak, A.S. (2002). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 13(4): 215-225. doi: 10.1016/S0950-3293(01)00039-8
- Szczesniak, A.S.; Brandt, M.A.; Friedman, H.H. (1963). Development of standard rating scales for mechanical parameters of texture and correlation between the objective and sensory methods of texture evaluation. *Journal of Food Science*, 28(4): 397-403. doi: 10.1111/j.1365-2621.1963.tb00217.x
- Tsouvaltzis, P. & Brecht, J.K. (2017). Inhibition of enzymatic browning of fresh-cut potato by immersion in citric acid is not solely due to pH reduction of the solution. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(2): e12829. doi: 10.1111/jfpp.12829
- Umaña, E. (2011). *Conservación de alimentos por frío [versión Adobe Digital Version]*. Recuperado de [https://www.academia.edu/6476102/Conservaci%C3%B3n\\_de\\_alimentos\\_por\\_fr%C3%ADo](https://www.academia.edu/6476102/Conservaci%C3%B3n_de_alimentos_por_fr%C3%ADo)

- Vitali, A.A. & Rao, M.A. (1984). Flow properties of low-pulp concentrated orange juice: effect of temperature and concentration. *Journal of Food Science*, 49(3): 882-888. Doi: 10.1111/j.1365-2621.1984.tb13233.x
- Wang, H.; Sun, D.; Zeng, Q.; Lu, Y. (2007). Flow behavior and rheological models of rice flour pastes. *Journal of Food Process Engineering*, 22(3): 191-200. doi: 10.1111/j.1745-4530.1999.tb00480.x
- Wang-Pruski, G. & Nowak, J. (2004). Potato after-cooking darkening. *American Journal of Potato Research*, 81(1): 7-16. doi: 10.1007/BF02853831
- Yoo, B. & Rao, M.A. (1995). Yield stress and relative viscosity of tomato concentrates: effect of total solids and finisher screen size. *Journal of Food science*, 60(4): 777-779. doi: 10.1111/j.1365-2621.1995.tb06227.x
- Zárate-Polanco, L.M.; Ramírez-Suárez, L.M.; Otálora-Santamaría, N.A.; Prieto, L.; Garnica-Holguín, A.M.; Cerón-Lasso, M.S.; Argüelles, J.H. (2014). Extracción y caracterización de almidón nativo de clones promisorios de papa criolla (*Solanum tuberosum*, grupo Phureja). *Revista Latinoamericana de la Papa*, 18(1): 1-24. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5512060>
- Zykwinska, A.W.; Ralet, M.C.J.; Garnier, C.D.; Thibault, J.F.J. (2005). Evidence for in vitro binding of pectin side chains to cellulose. *Plant Physiology*, 139(1): 397-407. doi: 10.1104/pp.105.065912

## VIII. ANEXOS

### **ANEXO 1: OBTENCIÓN DE LA MUESTRA PARA REALIZAR LAS PRUEBAS REOLÓGICAS OSCILATORIAS**

Se obtuvo la muestra a partir de los tratamientos trabajados siguiendo los pasos descritos a continuación:

- Se mezcló en un vaso precipitado 20gr del tratamiento a trabajar con 20gr de agua destilada, se mezcló bien y se homogenizó con ayuda de un mortero.
- Una vez lista la mezcla, se pasó por un colador de cocina fina con ayuda de una cuchara sin desperdiciar nada de la mezcla.
- Ya lista la muestra, en un vaso precipitado de 25ml se pesó 20gr de muestra.
- El vaso precipitado junto con la muestra, se colocó en el agitador magnético con control de temperatura a una temperatura de 80°C por 10 minutos.
- Ya transcurrido el tiempo, se puso el vaso precipitado con la muestra dentro a enfriar en baño frío de 50ml a temperatura ambiente hasta llegar a la temperatura de trabajo de 55°C.

## **ANEXO 2: OBTENCIÓN DE LA MUESTRA PARA REALIZAR EL ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA**

La muestra se obtuvo a partir de los tratamientos trabajados a partir de los siguientes pasos:

- Se mezcló en un vaso precipitado de 250ml una muestra de 40gr de tratamientos con 40 gr de agua destilada y se homogenizó.
- Una vez la muestra homogenizada, se colocó un agitador dentro del vaso y se selló con bolsa de propileno y ligas elásticas.
- Se colocó el vaso en baño maría a 80°C por 10 minutos y con una agitación a media velocidad.
- Una vez transcurrido el tiempo, se saca el vaso precipitado que contienen la muestra y se deja enfriar a temperatura ambiente.

# ANEXO 3: ANÁLISIS PROXIMAL Y DE CONTENIDO ÁCIDO CLOROGÉNICO DE LAS MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS



**LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS  
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

*Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos*



## INFORME DE ENSAYOS

N° 003113 - 2016

**SOLICITANTE** : ESMERALDA CORP S.A.C  
**DIRECCIÓN LEGAL** : AUTOPISTA PANAMERICANA SUR K.M. 18.5  
**PRODUCTO** : PAPA AMARILLA "AMBO"  
**NÚMERO DE MUESTRAS** : Uno  
**IDENTIFICACIÓN/MTRA.** : S.I.  
**CANTIDAD RECIBIDA** : 1093,6 g (+ envase) de muestra proporcionada por el solicitante.  
**MARCA(S)** : S.M.  
**FORMA DE PRESENTACIÓN** : Envasado, la muestra ingresa en bolsa de plástico cerrado  
**SOLICITUD DE SERVICIO** : S/S N°EN-001886 -2016  
**REFERENCIA** : PERSONAL  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 25/04/2016  
**ENSAYOS SOLICITADOS** : FÍSICO/QUÍMICO  
**PERÍODO DE CUSTODIA** : 10 Días, a partir de la fecha de recepción.

### RESULTADOS :

#### ENSAYOS FÍSICOS/QUÍMICOS :

ALCANCE : N.A.

| ENSAYO   | RESULTADO |
|--|-----------|
| 1.- Cenizas (g / 100 g de muestra original)                | 1,0       |
| 2.- Hierro (mg / kg de muestra original)                   | 9,3       |
| 3.- Humedad(g / 100 g de muestra original)                 | 74,9      |
| 4.- Proteína(g / 100 g de muestra original) (Factor: 6,25) | 2,5       |
| 5.- % Kcal. proveniente de Grasa                           | 0,0       |
| 6.- % Kcal. proveniente de Proteínas                       | 10,4      |
| 7.- Carbohidratos(g / 100 g de muestra original)           | 21,6      |
| 8.- Energía Total(Kcal / 100 g de muestra original)        | 96,4      |
| 9.- Grasa(g / 100 g de muestra original)                   | 0,0       |
| 10.- % Kcal. proveniente de Carbohidratos                  | 89,6      |

#### MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO :

- 1.- AOAC 940.26(A) Cap. 37 Ed. 19 Pág. 7 2012
- 2.- AOAC 975.03 Cap. 3 Ed. 19 Pág. 5-6 2012
- 3.- AOAC 920.151 Cap. 37 Ed. 19 Pág. 6 2012
- 4.- AOAC 920.152 Cap. 37 Ed. 19 Pág. 10 2012
- 5.- Por Cálculo MS-INN Collazos 1993
- 6.- Por Cálculo MS-INN Collazos 1993
- 7.- Por Diferencia MS-INN Collazos 1993
- 8.- Por Cálculo MS-INN Collazos 1993
- 9.- AOAC 948.22 Ed. 19 Cap. 40 Pág. 1 2012
- 10.- Por Cálculo MS-INN Collazos 1993

CONTINÚA INFORME DE ENSAYOS N° 003113 - 2016

Pág 1/2

Av. La Molina S/N (frente a la puerta principal de la Universidad Agraria) - La Molina - Lima - Perú  
 Telf.: (511) 3495640 - 3492507 Fax: (511) 3495794  
 E-mail: [mktg@lamolina.edu.pe](mailto:mktg@lamolina.edu.pe) - Página Web: [www.lamolina.edu.pe/calidadtotal](http://www.lamolina.edu.pe/calidadtotal) - la molina calidad total



## INFORME DE ENSAYOS

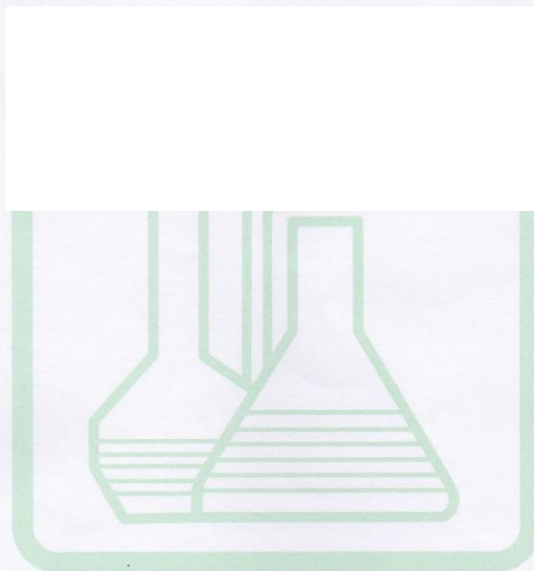
N° 003113 - 2016

FECHA DE EJECUCION DE ENSAYOS: Del 25/04/2016 Al 02/05/2016.

### ADVERTENCIA :

- 1.- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento y transporte de la muestra hasta su ingreso a La Molina Calidad Total - Laboratorios son de responsabilidad del Solicitante.
- 2.- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente Informe sin la autorización de La Molina Calidad Total - Laboratorios.
- 3.- Válido sólo para la cantidad recibida. No es un Certificado de Conformidad ni Certificado del Sistema de Calidad de quien lo produce.
- 4.- Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA

La Molina, 2 de Mayo de 2016







**LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS  
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

*Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos*



**INFORME DE ENSAYOS**

**N° 003114 - 2016**

**SOLICITANTE** : ESMERALDA CORP S.A.C  
**DIRECCIÓN LEGAL** : AUTOPISTA PANAMERICANA SUR K.M. 18.5  
 : RUC: 20100076072 Teléfono: 617-8900  
**PRODUCTO** : PAPA AMARILLA "PERUANITA"  
**NÚMERO DE MUESTRAS** : Uno  
**IDENTIFICACIÓN/MTRA.** : S.I.  
**CANTIDAD RECIBIDA** : 994,6 g (+ envase) de muestra proporcionada por el solicitante.  
**MARCA(S)** : S.M.  
**FORMA DE PRESENTACIÓN** : Envasado, la muestra ingresa en bolsa de plástico cerrado  
**SOLICITUD DE SERVICIO** : S/S N°EN-001885 -2016  
**REFERENCIA** : PERSONAL  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : 25/04/2016  
**ENSAYOS SOLICITADOS** : **FÍSICO/QUÍMICO**  
**PERÍODO DE CUSTODIA** : 10 Días, a partir de la fecha de recepción.

**RESULTADOS :**

**ENSAYOS FÍSICOS/QUÍMICOS :**

ALCANCE : N.A.

| ENSAYO   | RESULTADOS |
|--|------------|
| 1.- Cenizas (g / 100 g de muestra original)                | 0,9        |
| 2.- Hierro (mg / kg de muestra original)                   | 8,9        |
| 3.- Humedad(g / 100 g de muestra original)                 | 70,2       |
| 4.- Proteína(g / 100 g de muestra original) (Factor: 6,25) | 2,6        |
| 5.- % Kcal. proveniente de Grasa                           | 0,0        |
| 6.- % Kcal. proveniente de Proteínas                       | 9,0        |
| 7.- Carbohidratos(g / 100 g de muestra original)           | 26,3       |
| 8.- Energía Total(Kcal / 100 g de muestra original)        | 115,6      |
| 9.- Grasa(g / 100 g de muestra original)                   | 0,0        |
| 10.- % Kcal. proveniente de Carbohidratos                  | 91,0       |

**MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO :**

- 1.- AOAC 940.26(A) Cap. 37 Ed. 19 Pág. 7 2012
- 2.- AOAC 975.03 Cap. 3 Ed. 19 Pág. 5-6 2012
- 3.- AOAC 920.151 Cap. 37 Ed. 19 Pág. 6 2012
- 4.- AOAC 920.152 Cap. 37 Ed. 19 Pág. 10 2012
- 5.- Por Cálculo MS-INN Collazos 1993
- 6.- Por Cálculo MS-INN Collazos 1993
- 7.- Por Diferencia MS-INN Collazos 1993
- 8.- Por Cálculo MS-INN Collazos 1993
- 9.- AOAC 948.22 Ed. 19 Cap. 40 Pág. 1 2012
- 10.- Por Cálculo MS-INN Collazos 1993

CONTINÚA INFORME DE ENSAYOS N° 003114 - 2016

Pág 1/2

Av. La Molina S/N (frente a la puerta principal de la Universidad Agraria) - La Molina - Lima - Perú  
 Telf.: (511) 3495640 - 3492507 Fax: (511) 3495794  
 E-mail: mktg@lamolina.edu.pe - Página Web: www.lamolina.edu.pe/calidadtotal - la molina calidad total



**LA MOLINA CALIDAD TOTAL LABORATORIOS**  
**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

*Instituto de Certificación, Inspección y Ensayos*



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

**INFORME DE ENSAYOS**

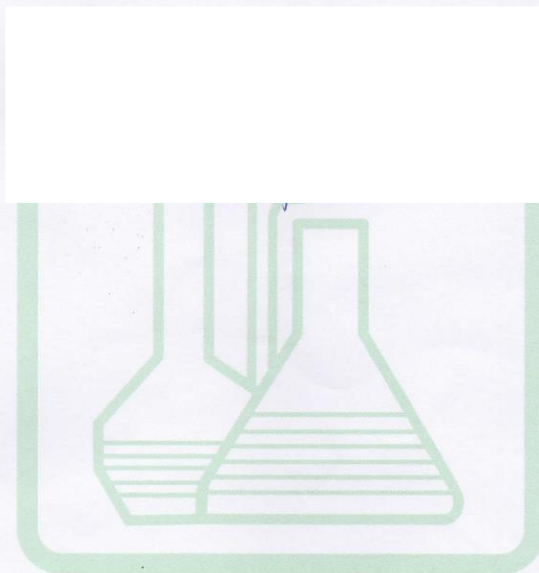
**N° 003114 - 2016**

FECHA DE EJECUCION DE ENSAYOS: Del 25/04/2016 Al 02/05/2016.

**ADVERTENCIA :**

- 1.- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento y transporte de la muestra hasta su ingreso a La Molina Calidad Total - Laboratorios son de responsabilidad del Solicitante.
- 2.- Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente Informe sin la autorización de La Molina Calidad Total - Laboratorios.
- 3.- Válido sólo para la cantidad recibida. No es un Certificado de Conformidad ni Certificado del Sistema de Calidad de quien lo produce.
- 4.- Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA

La Molina, 2 de Mayo de 2016



Pág 2/2



**Universidad Nacional Agraria La Molina**  
Instituto de Biotecnología - Biotecnología Industrial



Av. La Molina s/n. La Molina Apdo. 12056, Lima-Perú. Telf. 614-7800 Anexo 436  
<http://www.lamolina.edu.pe/institutos/ibt/>  
[ibt@lamolina.edu.pe](mailto:ibt@lamolina.edu.pe)

**RESULTADOS DE ANALISIS\***

**CLIENTE:** Fernando Vargas Delgado  
**R.U.C.:**  
**MUESTRA:** Papa

| MUESTRA   | Contenido de ácido clorogénico (mg/g) <sup>(1)</sup> |
|-----------|--|
| Peruanita | 0.11   |
| Ambo      | 0.13   |

\* Promedio de tres repeticiones

<sup>1</sup> Método UPLC. Adaptado de: Rosana Chirinos, Mauricio Huamán, Indira Betalheuz-Pallardel, Romina Pedreschi, David Campos (2011). Characterisation of phenolic compounds of Inca muiña (*Clinopodium bolivianum*) leaves and the feasibility of their application to improve the oxidative stability of soybean oil during frying. *Food Chemistry*, 128, 711-716.

**Advertencia:**

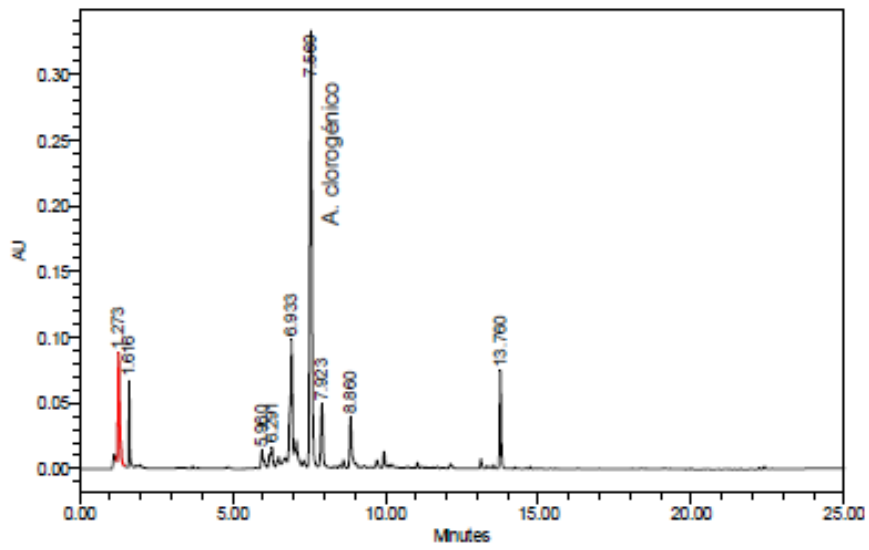
- El muestreo y las condiciones de manejo de las muestras hasta su ingreso a los Laboratorios del IBT - UNALM son de responsabilidad del solicitante
- Los resultados son válidos sólo para las muestras recibidas

Fecha de realización de los ensayos: del 05/09/16 al 08/09/16

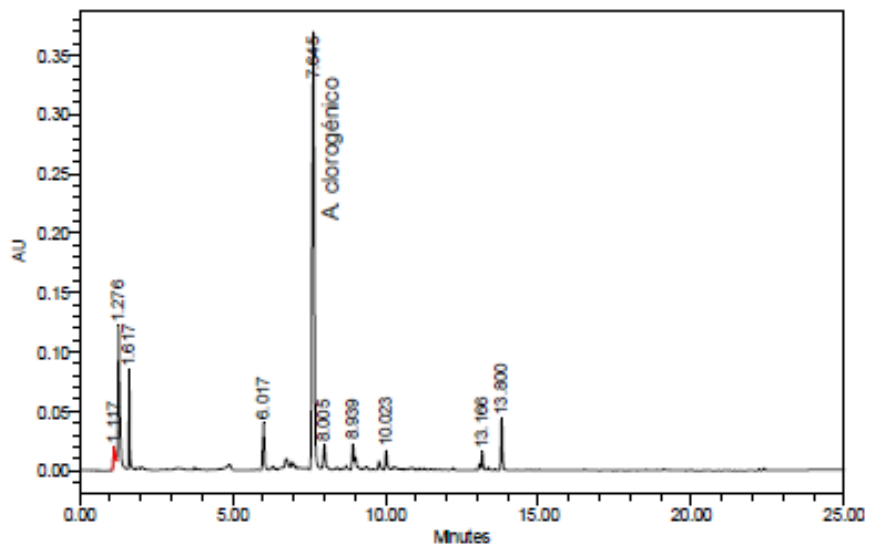
La Molina, 12 de setiembre del 2016

Dr. ~~David Campos~~ Gutiérrez  
INSTITUTO DE BIOTECNOLOGIA  
BIOTECNOLOGIA INDUSTRIAL

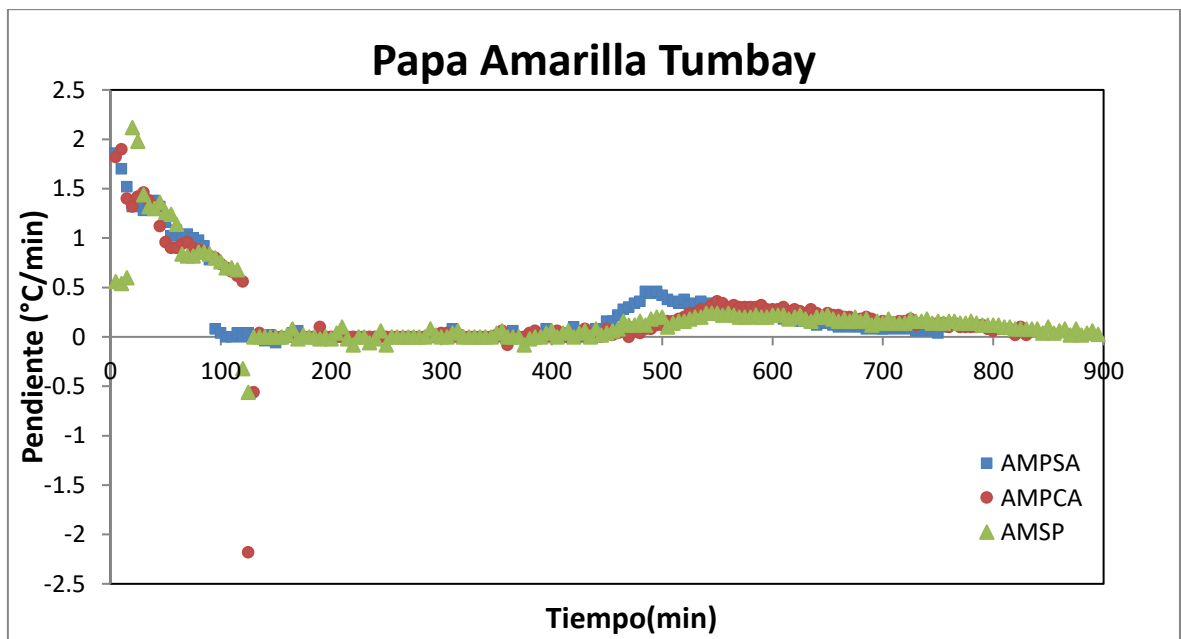
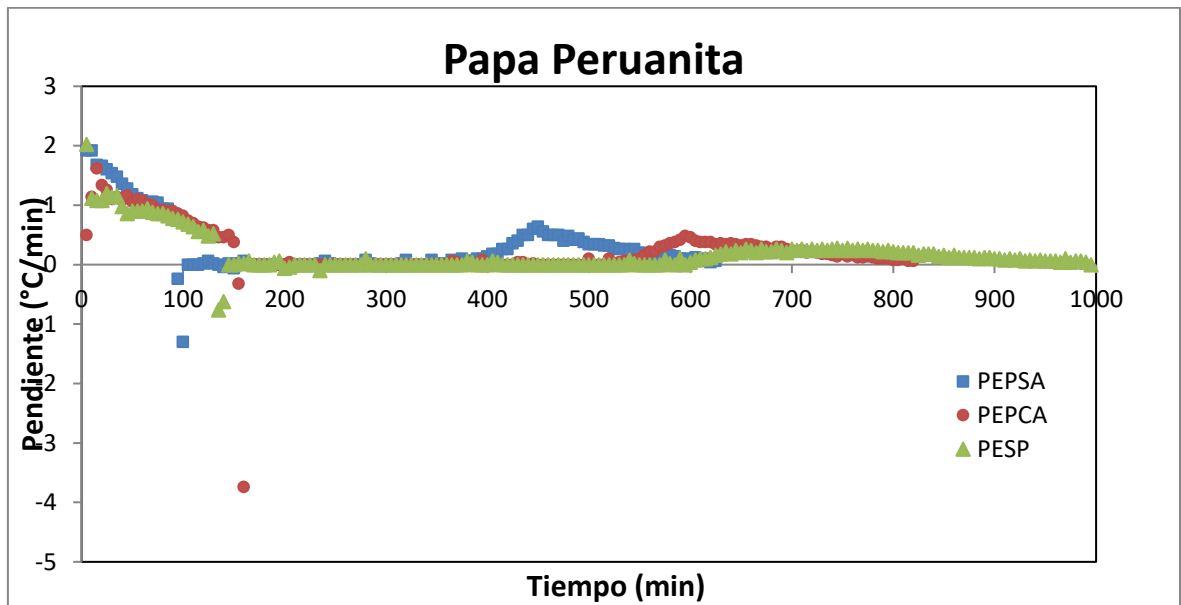
Peruanita,  $\lambda$  320 nm



Ambo,  $\lambda$  320 nm



**ANEXO 4: GRÁFICAS OBTENIDAS PARA LA DETERMINACIÓN DEL TC Y TM EN LAS CURVAS DE CONGELACIÓN**



|       | PENDIENTE max | TIEMPO | °T equiv |
|-------|---------------|--------|----------|
| PEPSA | 0.64          | 450    | -5.2     |
| PEPCA | 0.48          | 595    | -4.0     |
| PESP  | 0.28          | 755    | -8.2     |
| AMPSA | 0.46          | 495    | -4.4     |
| AMPCA | 0.36          | 550    | -4.2     |
| AMSP  | 0.24          | 560    | -5.1     |

**ANEXO 5: ANOVA PARA LA TEMPERATURA DE INICIO Y FIN DE CONGELACIÓN**

**Tabla A.1: ANOVA para temperatura de inicio de congelación**

| <b>Fuente</b>       | <b>Suma de Cuadrados</b> | <b>Gl</b> | <b>Cuadrado Medio</b> | <b>Razón-F</b> | <b>Valor-P</b> |
|---------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| Efectos principales |                          |           |                       |                |                |
| A:variedad          | 0.00125                  | 1         | 0.00125               | 0.18           | 0.6818         |
| B:pelado            | 0.1867                   | 2         | 0.09335               | 13.18          | 0.0009         |
| Interacciones       |                          |           |                       |                |                |
| AB                  | 0.0007                   | 2         | 0.00035               | 0.05           | 0.9520         |
| Restos              | 0.085                    | 12        | 0.00708333            |                |                |
| Total               | 0.27365                  | 17        |                       |                |                |

**Tabla A.2: ANOVA para temperatura de fin de congelación**

| <b>Fuente</b>       | <b>Suma de Cuadrados</b> | <b>Gl</b> | <b>Cuadrado Medio</b> | <b>Razón-F</b> | <b>Valor-P</b> |
|---------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| Efectos principales |                          |           |                       |                |                |
| A:variedad          | 6.845                    | 1         | 6.845                 | 342.25         | 0.0000         |
| B:pelado            | 20.83                    | 2         | 10.415                | 520.75         | 0.0000         |
| Interacciones       |                          |           |                       |                |                |
| AB                  | 8.59                     | 2         | 4.295                 | 214.75         | 0.0000         |
| Restos              | 0.24                     | 12        | 0.02                  |                |                |
| Total               | 36.505                   | 17        |                       |                |                |

**ANEXO 6: ANOVA Y LSD PARA EL COLOR DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL EFECTO DE LA CONGELACIÓN**

**Tabla B.1: ANOVA para L\***

| <b>Fuente</b>       | <b>Suma de Cuadrados</b> | <b>Gl</b> | <b>Cuadrado Medio</b> | <b>Razón-F</b> | <b>Valor-P</b> |
|---------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| Efectos principales |                          |           |                       |                |                |
| A:variedad          | 0.222469                 | 1         | 0.222469              | 1.48           | 0.2355         |
| B:pelado            | 297.158                  | 2         | 148.579               | 988.86         | 0.0000         |
| C:congelación       | 32.6612                  | 1         | 32.6612               | 217.38         | 0.0000         |
| Interacciones       |                          |           |                       |                |                |
| AB                  | 84.6353                  | 2         | 42.3176               | 281.64         | 0.0000         |
| AC                  | 0.018225                 | 1         | 0.018225              | 0.12           | 0.7307         |
| BC                  | 0.276267                 | 2         | 0.138133              | 0.92           | 0.4124         |
| ABC                 | 3.28007                  | 2         | 1.64003               | 10.92          | 0.0004         |
| Restos              | 3.60607                  | 24        | 0.150253              |                |                |
| Total               | 421.857                  | 35        |                       |                |                |

**Pruebas de Múltiple Rangos para L\***

| <b>Tratamiento</b> | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
|--------------------|--------------|-----------------|-----------------|--------------------------|
| PESP C/D           | 3            | 64.4067         | 0.223795        | X                        |
| PESP SC            | 3            | 67.01           | 0.223795        | X                        |
| AMSP C/D           | 3            | 69.4833         | 0.223795        | X                        |
| AMSP SC            | 3            | 70.29           | 0.223795        | X                        |
| AMPCA C/D          | 3            | 71.3033         | 0.223795        | X                        |
| AMPSA C/D          | 3            | 71.7633         | 0.223795        | X                        |
| AMPCA SC           | 3            | 73.84           | 0.223795        | X                        |
| AMPSA SC           | 3            | 74.0            | 0.223795        | X                        |
| PEPCA C/D          | 3            | 74.1233         | 0.223795        | X                        |
| PEPSA C/D          | 3            | 74.3567         | 0.223795        | X                        |
| PEPCA SC           | 3            | 75.85           | 0.223795        | X                        |
| PEPSA SC           | 3            | 75.8767         | 0.223795        | X                        |

**Tabla B.2: ANOVA para b\***

| Fuente              | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Efectos principales |                   |    |                |         |         |
| A:variedad          | 209.971           | 2  | 104.985        | 284.17  | 0.0000  |
| B:pelado            | 15.3403           | 1  | 15.3403        | 41.52   | 0.0000  |
| C:congelación       | 32.6803           | 1  | 32.6803        | 88.46   | 0.0000  |
| Interacciones       |                   |    |                |         |         |
| AB                  | 3.69056           | 2  | 1.84528        | 4.99    | 0.0154  |
| AC                  | 65.5106           | 2  | 32.7553        | 88.66   | 0.0000  |
| BC                  | 1.24694           | 1  | 1.24694        | 3.38    | 0.0786  |
| ABC                 | 4.12389           | 2  | 2.06194        | 5.58    | 0.0102  |
| Restos              | 8.86667           | 24 | 0.369444       |         |         |
| Total               | 341.43            | 35 |                |         |         |

**Pruebas de Múltiple Rangos para b\***

| Tratamiento | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
|-------------|-------|----------|----------|-------------------|
| PESP C/D    | 3     | 41.5     | 0.350925 | X                 |
| PESP SC     | 3     | 42.5     | 0.350925 | X                 |
| AMSP C/D    | 3     | 46.1     | 0.350925 | X                 |
| AMPSA C/D   | 3     | 47.9     | 0.350925 | X                 |
| AMSP SC     | 3     | 48.9     | 0.350925 | XX                |
| PEPCA C/D   | 3     | 49.0     | 0.350925 | XX                |
| PEPSA C/D   | 3     | 49.7     | 0.350925 | XXX               |
| PEPCA SC    | 3     | 50.0     | 0.350925 | XXX               |
| AMPSA SC    | 3     | 50.3     | 0.350925 | XX                |
| PEPSA SC    | 3     | 50.5     | 0.350925 | XX                |
| AMPCA SC    | 3     | 50.6333  | 0.350925 | XX                |
| AMPCA C/D   | 3     | 50.8     | 0.350925 | X                 |



**Tabla B.3: ANOVA para a\***

| Fuente              | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F  | Valor-P |
|---------------------|-------------------|----|----------------|----------|---------|
| Efectos principales |                   |    |                |          |         |
| A:variedad          | 2.58              | 2  | 1.29           | 96.75    | 0.0000  |
| B:pelado            | 322.202           | 1  | 322.202        | 24165.19 | 0.0000  |
| C:congelación       | 0.5625            | 1  | 0.5625         | 42.19    | 0.0000  |
| Interacciones       |                   |    |                |          |         |
| AB                  | 10.64             | 2  | 5.32           | 399.00   | 0.0000  |
| AC                  | 4.56              | 2  | 2.28           | 171.00   | 0.0000  |
| BC                  | 0.0225            | 1  | 0.0225         | 1.69     | 0.2063  |
| ABC                 | 0.06              | 2  | 0.03           | 2.25     | 0.1272  |
| Restos              | 0.32              | 24 | 0.01333333     |          |         |
| Total               | 340.947           | 35 |                |          |         |

**Pruebas de Múltiple Rangos para b\***

| Tratamiento | Casos | Media LS | Sigma LS  | Grupos Homogéneos |
|-------------|-------|----------|-----------|-------------------|
| PEPSA SC    | 3     | -3.5     | 0.0666667 | X                 |
| PEPCA SC    | 3     | -3.3     | 0.0666667 | X                 |
| PEPSA C/D   | 3     | -3.1     | 0.0666667 | X                 |
| PEPCA C/D   | 3     | -3.0     | 0.0666667 | X                 |
| PESP C/D    | 3     | -2.2     | 0.0666667 | X                 |
| PESP SC     | 3     | -0.9     | 0.0666667 | X                 |
| AMSP C/D    | 3     | 2.3      | 0.0666667 | X                 |
| AMPSA SC    | 3     | 3.2      | 0.0666667 | X                 |
| AMSP SC     | 3     | 3.5      | 0.0666667 | X                 |
| AMPSA C/D   | 3     | 3.5      | 0.0666667 | X                 |
| AMPCA SC    | 3     | 3.7      | 0.0666667 | X                 |
| AMPCA C/D   | 3     | 3.7      | 0.0666667 | X                 |

**Tabla B.4: ANOVA para YI\***

| Fuente              | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Efectos principales |                   |    |                |         |         |
| A:congelación       | 0.127054          | 1  | 0.127054       | 0.22    | 0.6469  |
| B:pelado            | 54.1384           | 2  | 27.0692        | 45.86   | 0.0000  |
| C:variedad          | 155.836           | 1  | 155.836        | 264.03  | 0.0000  |
| Interacciones       |                   |    |                |         |         |
| AB                  | 18.6296           | 2  | 9.31479        | 15.78   | 0.0000  |
| AC                  | 7.24634           | 1  | 7.24634        | 12.28   | 0.0018  |
| BC                  | 45.9264           | 2  | 22.9632        | 38.91   | 0.0000  |
| ABC                 | 28.7718           | 2  | 14.3859        | 24.37   | 0.0000  |
| Restos              | 14.1653           | 24 | 0.59022        |         |         |
| Total               | 324.841           | 35 |                |         |         |

### **Pruebas de Múltiple Rangos para YI**

| <b>Tratamiento</b> | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
|--------------------|--------------|-----------------|-----------------|--------------------------|
| PESP SC            | 3            | 90.6566         | 0.443554        | X                        |
| PESP C/D           | 3            | 92.0518         | 0.443554        | X                        |
| PEPCA SC           | 3            | 94.0905         | 0.443554        | X                        |
| PEPCA C/D          | 3            | 94.5198         | 0.443554        | XX                       |
| AMSP C/D           | 3            | 94.8385         | 0.443554        | XX                       |
| PEPSA SC           | 3            | 95.0017         | 0.443554        | XX                       |
| AMPSA C/D          | 3            | 95.2776         | 0.443554        | XX                       |
| PEPSA C/D          | 3            | 95.5126         | 0.443554        | X                        |
| AMPSA SC           | 3            | 97.1708         | 0.443554        | X                        |
| AMPCA SC           | 3            | 98.4724         | 0.443554        | X                        |
| AMSP SC            | 3            | 99.2809         | 0.443554        | X                        |
| AMPCA C/D          | 3            | 101.76          | 0.443554        | X                        |

## ANEXO 7: ANOVA Y LSD PARA EL PH DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL EFECTO DE LA CONGELACIÓN

**Tabla C: ANOVA para pH\***

| Fuente              | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Efectos principales |                   |    |                |         |         |
| A:congelación       | 0.0529            | 1  | 0.0529         | 171.57  | 0.0000  |
| B:pelado            | 0.04835           | 2  | 0.024175       | 78.41   | 0.0000  |
| C:variedad          | 0.0529            | 1  | 0.0529         | 171.57  | 0.0000  |
| Interacciones       |                   |    |                |         |         |
| AB                  | 0.00161667        | 2  | 0.000808333    | 2.62    | 0.0934  |
| AC                  | 0.000177778       | 1  | 0.000177778    | 0.58    | 0.4551  |
| BC                  | 0.00915           | 2  | 0.004575       | 14.84   | 0.0001  |
| ABC                 | 0.00150556        | 2  | 0.000752778    | 2.44    | 0.1084  |
| Restos              | 0.0074            | 24 | 0.000308333    |         |         |
| Total               | 0.174             | 35 |                |         |         |

### Pruebas de Múltiple Rangos para pH

| Tratamiento | Casos | Media LS | Sigma LS  | Grupos Homogéneos |
|-------------|-------|----------|-----------|-------------------|
| PEPCA SC    | 3     | 6.15667  | 0.0101379 | X                 |
| PESP SC     | 3     | 6.17333  | 0.0101379 | X                 |
| PEPCA C/D   | 3     | 6.23333  | 0.0101379 | X                 |
| PESP C/D    | 3     | 6.25667  | 0.0101379 | XX                |
| AMPCA SC    | 3     | 6.26333  | 0.0101379 | XXX               |
| PEPSA SC    | 3     | 6.27333  | 0.0101379 | XX                |
| AMSP SC     | 3     | 6.29     | 0.0101379 | X                 |
| AMPSA SC    | 3     | 6.29333  | 0.0101379 | X                 |
| AMPCA C/D   | 3     | 6.33     | 0.0101379 | X                 |
| AMSP C/D    | 3     | 6.33333  | 0.0101379 | X                 |
| PEPSA C/D   | 3     | 6.35667  | 0.0101379 | X                 |
| AMPSA C/D   | 3     | 6.4      | 0.0101379 | X                 |

**ANEXO 8: ANOVA Y LSD PARA EL CONTENIDO DE MATERIA SECA DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL EFECTO DE LA CONGELACIÓN**

**Tabla D: ANOVA para materia seca**

| Fuente              | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Efectos principales |                   |    |                |         |         |
| A:congelación       | 2.7556            | 1  | 2.7556         | 7.45    | 0.0117  |
| B:pelado            | 213.715           | 2  | 106.858        | 288.72  | 0.0000  |
| C:variedad          | 3.9601            | 1  | 3.9601         | 10.70   | 0.0032  |
| Interacciones       |                   |    |                |         |         |
| AB                  | 0.4514            | 2  | 0.2257         | 0.61    | 0.5517  |
| AC                  | 0.1681            | 1  | 0.1681         | 0.45    | 0.5068  |
| BC                  | 8.0474            | 2  | 4.0237         | 10.87   | 0.0004  |
| ABC                 | 0.2144            | 2  | 0.1072         | 0.29    | 0.7511  |
| Restos              | 8.8826            | 24 | 0.370108       |         |         |
| Total               | 238.195           | 35 |                |         |         |

**Pruebas de Múltiple Rangos para materia seca**

| Tratamiento | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
|-------------|-------|----------|----------|-------------------|
| AMPSA SC    | 3     | 24.62    | 0.35124  | X                 |
| PEPSA SC    | 3     | 24.64    | 0.35124  | X                 |
| AMPSA C/D   | 3     | 25.0     | 0.35124  | XX                |
| PEPSA C/D   | 3     | 25.04    | 0.35124  | XX                |
| AMPCA SC    | 3     | 25.62    | 0.35124  | XXX               |
| PEPCA SC    | 3     | 25.93    | 0.35124  | XXX               |
| PEPCA C/D   | 3     | 26.45    | 0.35124  | XX                |
| AMPCA C/D   | 3     | 26.84    | 0.35124  | X                 |
| AMSP SC     | 3     | 29.31    | 0.35124  | X                 |
| AMSP C/D    | 3     | 29.78    | 0.35124  | X                 |
| PESP SC     | 3     | 31.38    | 0.35124  | X                 |
| PESP C/D    | 3     | 31.71    | 0.35124  | X                 |

**ANEXO 9: ANOVA Y LSD PARA LAS PRUEBAS REOLÓGICAS  
OSCILATORIAS DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL EFECTO DE LA  
CONGELACIÓN**

**Tabla E.1: ANOVA para G'**

| <b>Fuente</b>       | <b>Suma de Cuadrados</b> | <b>Gl</b> | <b>Cuadrado Medio</b> | <b>Razón-F</b> | <b>Valor-P</b> |
|---------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| Efectos principales |                          |           |                       |                |                |
| A:congelación       | 4.58374E6                | 1         | 4.58374E6             | 271.09         | 0.0000         |
| B:pelado            | 5.94818E6                | 2         | 2.97409E6             | 175.89         | 0.0000         |
| C:variedad          | 1.27294E7                | 1         | 1.27294E7             | 752.83         | 0.0000         |
| Interacciones       |                          |           |                       |                |                |
| AB                  | 2.94195E6                | 2         | 1.47098E6             | 86.99          | 0.0000         |
| AC                  | 82637.1                  | 1         | 82637.1               | 4.89           | 0.0368         |
| BC                  | 1.32208E6                | 2         | 661041.               | 39.09          | 0.0000         |
| ABC                 | 2135.68                  | 2         | 1067.84               | 0.06           | 0.9390         |
| Restos              | 405812.                  | 24        | 16908.8               |                |                |
| Total               | 2.8016E7                 | 35        |                       |                |                |

**Pruebas de Múltiple Rangos para G'**

| <b>Tratamiento</b> | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
|--------------------|--------------|-----------------|-----------------|--------------------------|
| PEPSA C/D          | 3            | 584.1           | 75.0751         | X                        |
| PEPSA SC           | 3            | 1068.3          | 75.0751         | X                        |
| PEPCA C/D          | 3            | 1186.2          | 75.0751         | X                        |
| AMPSA C/D          | 3            | 2119.6          | 75.0751         | X                        |
| PESP C/D           | 3            | 2145.1          | 75.0751         | X                        |
| PESP SC            | 3            | 2154.4          | 75.0751         | X                        |
| AMPCA C/D          | 3            | 2336.07         | 75.0751         | XX                       |
| PEPCA SC           | 3            | 2546.2          | 75.0751         | XX                       |
| AMSP C/D           | 3            | 2740.1          | 75.0751         | XX                       |
| AMPSA SC           | 3            | 2763.4          | 75.0751         | XX                       |
| AMSP SC            | 3            | 2931.5          | 75.0751         | X                        |
| AMPCA SC           | 3            | 3929.3          | 75.0751         | X                        |

**Tabla E.2: ANOVA para G''**

| <b>Fuente</b>       | <b>Suma de Cuadrados</b> | <b>Gl</b> | <b>Cuadrado Medio</b> | <b>Razón-F</b> | <b>Valor-P</b> |
|---------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| Efectos principales |                          |           |                       |                |                |
| A:congelación       | 55193.7                  | 1         | 55193.7               | 61.72          | 0.0000         |
| B:pelado            | 165576.                  | 2         | 82787.8               | 92.58          | 0.0000         |
| C:variedad          | 174863.                  | 1         | 174863.               | 195.54         | 0.0000         |
| Interacciones       |                          |           |                       |                |                |
| AB                  | 38813.2                  | 2         | 19406.6               | 21.70          | 0.0000         |
| AC                  | 1264.99                  | 1         | 1264.99               | 1.41           | 0.2459         |
| BC                  | 25063.0                  | 2         | 12531.5               | 14.01          | 0.0001         |
| ABC                 | 35020.5                  | 2         | 17510.2               | 19.58          | 0.0000         |
| Restos              | 21462.4                  | 24        | 894.268               |                |                |
| Total               | 517257.                  | 35        |                       |                |                |

**Pruebas de Múltiple Rangos para G''**

| <b>Tratamiento</b> | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
|--------------------|--------------|-----------------|-----------------|--------------------------|
| PEPSA D            | 3            | 186.3           | 17.2653         | X                        |
| PEPSA 1            | 3            | 197.1           | 17.2653         | X                        |
| PEPCA D            | 3            | 272.2           | 17.2653         | X                        |
| AMPSA D            | 3            | 332.233         | 17.2653         | X                        |
| PESP D             | 3            | 373.0           | 17.2653         | X                        |
| PESP 1             | 3            | 381.8           | 17.2653         | X                        |
| AMPCA D            | 3            | 442.9           | 17.2653         | X                        |
| AMPSA 1            | 3            | 468.6           | 17.2653         | XX                       |
| AMSP 1             | 3            | 502.0           | 17.2653         | XX                       |
| AMSP D             | 3            | 510.1           | 17.2653         | XX                       |
| AMPCA 1            | 3            | 514.0           | 17.2653         | XX                       |
| PEPCA 1            | 3            | 523.1           | 17.2653         | X                        |

**Tabla E.3: ANOVA para n'**

| <b>Fuente</b>       | <b>Suma de Cuadrados</b> | <b>Gl</b> | <b>Cuadrado Medio</b> | <b>Razón-F</b> | <b>Valor-P</b> |
|---------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| Efectos principales |                          |           |                       |                |                |
| A:congelación       | 0.004225                 | 1         | 0.004225              | 7.24           | 0.0128         |
| B:pelado            | 0.00045                  | 2         | 0.000225              | 0.39           | 0.6841         |
| C:variedad          | 0.000625                 | 1         | 0.000625              | 1.07           | 0.3109         |
| Interacciones       |                          |           |                       |                |                |
| AB                  | 0.00065                  | 2         | 0.000325              | 0.56           | 0.5801         |
| AC                  | 0.000025                 | 1         | 0.000025              | 0.04           | 0.8377         |
| BC                  | 0.00155                  | 2         | 0.000775              | 1.33           | 0.2836         |
| ABC                 | 0.00035                  | 2         | 0.000175              | 0.30           | 0.7436         |
| Restos              | 0.014                    | 24        | 0.000583333           |                |                |
| Total               | 0.021875                 | 35        |                       |                |                |

### Pruebas de Múltiple Rangos para n'

| Tratamiento | Casos | Media LS | Sigma LS  | Grupos Homogéneos |
|-------------|-------|----------|-----------|-------------------|
| AMPSA SC    | 3     | 0.11     | 0.0139443 | X                 |
| AMPCA SC    | 3     | 0.11     | 0.0139443 | X                 |
| PEPSA SC    | 3     | 0.12     | 0.0139443 | XX                |
| PESP C/D    | 3     | 0.13     | 0.0139443 | XX                |
| AMSP SC     | 3     | 0.13     | 0.0139443 | XX                |
| PEPCA SC    | 3     | 0.13     | 0.0139443 | XX                |
| AMPSA C/D   | 3     | 0.13     | 0.0139443 | XX                |
| PESP SC     | 3     | 0.13     | 0.0139443 | XX                |
| AMPCA C/D   | 3     | 0.14     | 0.0139443 | XX                |
| PEPSA C/D   | 3     | 0.15     | 0.0139443 | XX                |
| AMSP C/D    | 3     | 0.15     | 0.0139443 | XX                |
| PEPCA C/D   | 3     | 0.16     | 0.0139443 | X                 |

**Tabla E.4: ANOVA para k'**

| Fuente              | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Efectos principales |                   |    |                |         |         |
| A:congelación       | 4.02765E6         | 1  | 4.02765E6      | 586.50  | 0.0000  |
| B:pelado            | 4.5013E6          | 2  | 2.25065E6      | 327.73  | 0.0000  |
| C:variedad          | 1.0473E7          | 1  | 1.0473E7       | 1525.05 | 0.0000  |
| Interacciones       |                   |    |                |         |         |
| AB                  | 2.94822E6         | 2  | 1.47411E6      | 214.66  | 0.0000  |
| AC                  | 222218.           | 1  | 222218.        | 32.36   | 0.0000  |
| BC                  | 973928.           | 2  | 486964.        | 70.91   | 0.0000  |
| ABC                 | 20686.0           | 2  | 10343.0        | 1.51    | 0.2420  |
| Restos              | 164816.           | 24 | 6867.32        |         |         |
| Total               | 2.33318E7         | 35 |                |         |         |

### Pruebas de Múltiple Rangos para k'

| Tratamiento | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
|-------------|-------|----------|----------|-------------------|
| PEPSA C/D   | 3     | 819.1    | 47.8446  | X                 |
| PEPSA SC    | 3     | 1030.0   | 47.8446  | X                 |
| PEPCA C/D   | 3     | 1105.2   | 47.8446  | X                 |
| AMPSA C/D   | 3     | 1987.6   | 47.8446  | X                 |
| PESP C/D    | 3     | 2051.9   | 47.8446  | XX                |
| PESP SC     | 3     | 2054.4   | 47.8446  | XX                |
| AMPCA C/D   | 3     | 2189.9   | 47.8446  | X                 |
| PEPCA SC    | 3     | 2427.3   | 47.8446  | X                 |
| AMSP C/D    | 3     | 2563.5   | 47.8446  | XX                |
| AMPSA SC    | 3     | 2645.9   | 47.8446  | X                 |
| AMSP SC     | 3     | 2791.4   | 47.8446  | X                 |
| AMPCA SC    | 3     | 3782.0   | 47.8446  | X                 |

**Tabla E.5: ANOVA para n''**

| Fuente              | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Efectos principales |                   |    |                |         |         |
| A:congelación       | 0.00298844        | 1  | 0.00298844     | 2.77    | 0.1090  |
| B:pelado            | 0.00384689        | 2  | 0.00192344     | 1.78    | 0.1896  |
| C:variedad          | 0.00728178        | 1  | 0.00728178     | 6.75    | 0.0158  |
| Interacciones       |                   |    |                |         |         |
| AB                  | 0.00322689        | 2  | 0.00161344     | 1.50    | 0.2442  |
| AC                  | 0.000215111       | 1  | 0.000215111    | 0.20    | 0.6592  |
| BC                  | 0.00139356        | 2  | 0.000696778    | 0.65    | 0.5330  |
| ABC                 | 2.22222E-7        | 2  | 1.11111E-7     | 0.00    | 0.9999  |
| Restos              | 0.0258827         | 24 | 0.00107844     |         |         |
| Total               | 0.0448356         | 35 |                |         |         |

**Pruebas de Múltiple Rangos para n''**

| Tratamiento | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
|-------------|-------|----------|----------|-------------------|
| AMPCA SC    | 3     | 0.13     | 0.01896  | X                 |
| PEPCA SC    | 3     | 0.14     | 0.01896  | XX                |
| AMPSA SC    | 3     | 0.15     | 0.01896  | XXX               |
| AMPSA C/D   | 3     | 0.15     | 0.01896  | XXX               |
| AMSP C/D    | 3     | 0.17     | 0.01896  | XXX               |
| AMSP SC     | 3     | 0.17     | 0.01896  | XXX               |
| AMPCA C/D   | 3     | 0.17     | 0.01896  | XXX               |
| PEPSA SC    | 3     | 0.19     | 0.01896  | XX                |
| PEPCA C/D   | 3     | 0.19     | 0.01896  | XX                |
| PESP SC     | 3     | 0.190667 | 0.01896  | XX                |
| PESP C/D    | 3     | 0.2      | 0.01896  | X                 |
| PEPSA C/D   | 3     | 0.2      | 0.01896  | X                 |

**Tabla E.6: ANOVA para k''**

| Fuente              | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Efectos principales |                   |    |                |         |         |
| A:congelación       | 32292.1           | 1  | 32292.1        | 49.01   | 0.0000  |
| B:pelado            | 182500.           | 1  | 182500.        | 276.99  | 0.0000  |
| C:variedad          | 139857.           | 2  | 69928.3        | 106.13  | 0.0000  |
| Interacciones       |                   |    |                |         |         |
| AB                  | 79.21             | 1  | 79.21          | 0.12    | 0.7318  |
| AC                  | 20052.4           | 2  | 10026.2        | 15.22   | 0.0001  |
| BC                  | 20313.3           | 2  | 10156.6        | 15.42   | 0.0000  |
| ABC                 | 12931.6           | 2  | 6465.81        | 9.81    | 0.0008  |
| Restos              | 15812.8           | 24 | 658.865        |         |         |
| Total               | 423838.           | 35 |                |         |         |



### Pruebas de Múltiple Rangos para k''

| Tratamiento | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
|-------------|-------|----------|----------|-------------------|
| PEPSA C/D   | 3     | 166.5    | 14.8196  | X                 |
| PEPSA SC    | 3     | 171.1    | 14.8196  | X                 |
| PEPCA C/D   | 3     | 248.8    | 14.8196  | X                 |
| AMPSA C/D   | 3     | 344.8    | 14.8196  | X                 |
| PESP C/D    | 3     | 347.2    | 14.8196  | X                 |
| PESP SC     | 3     | 348.1    | 14.8196  | X                 |
| AMPCA C/D   | 3     | 393.0    | 14.8196  | X                 |
| AMPSA SC    | 3     | 399.8    | 14.8196  | X                 |
| PEPCA SC    | 3     | 431.9    | 14.8196  | XX                |
| AMSP C/D    | 3     | 460.8    | 14.8196  | X                 |
| AMPCA SC    | 3     | 463.0    | 14.8196  | X                 |
| AMSP SC     | 3     | 506.6    | 14.8196  | X                 |

**Tabla E.7: ANOVA para  $\delta$**

| Fuente              | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Efectos principales |                   |    |                |         |         |
| A:congelación       | 7.70063           | 1  | 7.70063        | 6.80    | 0.0155  |
| B:pelado            | 4.1318            | 2  | 2.0659         | 1.82    | 0.1831  |
| C:variedad          | 11.189            | 1  | 11.189         | 9.88    | 0.0044  |
| Interacciones       |                   |    |                |         |         |
| AB                  | 1.7448            | 2  | 0.8724         | 0.77    | 0.4741  |
| AC                  | 0.255025          | 1  | 0.255025       | 0.23    | 0.6395  |
| BC                  | 9.7848            | 2  | 4.8924         | 4.32    | 0.0250  |
| ABC                 | 1.7474            | 2  | 0.8737         | 0.77    | 0.4736  |
| Restos              | 27.1884           | 24 | 1.13285        |         |         |
| Total               | 63.7419           | 35 |                |         |         |

### Pruebas de Múltiple Rangos para $\delta$

| Tratamiento | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
|-------------|-------|----------|----------|-------------------|
| AMPCA SC    | 3     | 9.01     | 0.614505 | X                 |
| AMPSA SC    | 3     | 9.56     | 0.614505 | X                 |
| AMSP SC     | 3     | 9.8      | 0.614505 | X                 |
| PESP C/D    | 3     | 9.84     | 0.614505 | XX                |
| PESP SC     | 3     | 10.14    | 0.614505 | XX                |
| AMPSA C/D   | 3     | 10.31    | 0.614505 | XXX               |
| PEPSA SC    | 3     | 10.48    | 0.614505 | XXX               |
| AMPCA C/D   | 3     | 10.63    | 0.614505 | XXX               |
| AMSP C/D    | 3     | 10.71    | 0.614505 | XXX               |
| PEPCA SC    | 3     | 11.6     | 0.614505 | XXX               |
| PEPSA C/D   | 3     | 12.1     | 0.614505 | XX                |
| PEPCA C/D   | 3     | 12.55    | 0.614505 | X                 |

**ANEXO 10: ANOVA Y LSD PARA EL ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL EFECTO DE LA CONGELACIÓN**

**Tabla F.1: ANOVA para dureza**

| Fuente              | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Efectos principales |                   |    |                |         |         |
| A:congelación       | 5738.09           | 2  | 2869.04        | 724.55  | 0.0000  |
| B:pelado            | 1099.7            | 1  | 1099.7         | 277.72  | 0.0000  |
| C:variedad          | 1625.03           | 1  | 1625.03        | 410.39  | 0.0000  |
| Interacciones       |                   |    |                |         |         |
| AB                  | 69.7824           | 2  | 34.8912        | 8.81    | 0.0014  |
| AC                  | 762.71            | 2  | 381.355        | 96.31   | 0.0000  |
| BC                  | 161.078           | 1  | 161.078        | 40.68   | 0.0000  |
| ABC                 | 372.634           | 2  | 186.317        | 47.05   | 0.0000  |
| Restos              | 95.0338           | 24 | 3.95974        |         |         |
| Total               | 9924.05           | 35 |                |         |         |

**Pruebas de Múltiple Rangos para dureza**

| Tratamiento | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
|-------------|-------|----------|----------|-------------------|
| PEPCA C/D   | 3     | 60.6067  | 2.09523  | X                 |
| PEPSA C/D   | 3     | 60.66    | 2.09523  | X                 |
| AMPSA C/D   | 3     | 60.9267  | 2.09523  | X                 |
| AMPSA SC    | 3     | 60.94    | 2.09523  | X                 |
| PEPSA SC    | 3     | 60.94    | 2.09523  | X                 |
| AMSP C/D    | 3     | 79.8767  | 2.09523  | X                 |
| PESP C/D    | 3     | 92.3633  | 2.09523  | X                 |
| AMPCA C/D   | 3     | 128.61   | 2.09523  | X                 |
| PEPCA SC    | 3     | 148.89   | 2.09523  | X                 |
| PESP SC     | 3     | 178.477  | 2.09523  | X                 |
| AMPCA SC    | 3     | 200.573  | 2.09523  | X                 |
| AMSP SC     | 3     | 378.857  | 2.09523  | X                 |

**Tabla F.2: ANOVA para adhesividad**

| <b>Fuente</b>       | <b>Suma de Cuadrados</b> | <b>Gl</b> | <b>Cuadrado Medio</b> | <b>Razón-F</b> | <b>Valor-P</b> |
|---------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| Efectos principales |                          |           |                       |                |                |
| A:congelación       | 23692.4                  | 1         | 23692.4               | 1798.97        | 0.0000         |
| B:pelado            | 74428.9                  | 1         | 74428.9               | 5651.40        | 0.0000         |
| C:variedad          | 89972.7                  | 2         | 44986.4               | 3415.82        | 0.0000         |
| Interacciones       |                          |           |                       |                |                |
| AB                  | 9631.46                  | 1         | 9631.46               | 731.32         | 0.0000         |
| AC                  | 13529.3                  | 2         | 6764.63               | 513.64         | 0.0000         |
| BC                  | 56053.0                  | 2         | 28026.5               | 2128.06        | 0.0000         |
| ABC                 | 24552.5                  | 2         | 12276.3               | 932.14         | 0.0000         |
| Restos              | 316.08                   | 24        | 13.17                 |                |                |
| Total               | 292176.                  | 35        |                       |                |                |

**Pruebas de Múltiple Rangos para adhesividad**

| <b>Tratamiento</b> | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
|--------------------|--------------|-----------------|-----------------|--------------------------|
| PEPCA C/D          | 3            | 60.6067         | 2.09523         | X                        |
| PEPSA C/D          | 3            | 60.66           | 2.09523         | X                        |
| AMPSA C/D          | 3            | 60.9267         | 2.09523         | X                        |
| AMPSA SC           | 3            | 60.94           | 2.09523         | X                        |
| PEPSA SC           | 3            | 60.94           | 2.09523         | X                        |
| AMSP C/D           | 3            | 79.8767         | 2.09523         | X                        |
| PESP C/D           | 3            | 92.3633         | 2.09523         | X                        |
| AMPCA C/D          | 3            | 128.61          | 2.09523         | X                        |
| PEPCA SC           | 3            | 148.89          | 2.09523         | X                        |
| PESP SC            | 3            | 178.477         | 2.09523         | X                        |
| AMPCA SC           | 3            | 200.573         | 2.09523         | X                        |
| AMSP SC            | 3            | 378.857         | 2.09523         | X                        |

**Tabla F.3: ANOVA para cohesividad**

| <i>Fuente</i>       | <i>Suma de Cuadrados</i> | <i>Gl</i> | <i>Cuadrado Medio</i> | <i>Razón-F</i> | <i>Valor-P</i> |
|---------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| Efectos principales |                          |           |                       |                |                |
| A:congelación       | 0.000225                 | 1         | 0.000225              | 0.45           | 0.5111         |
| B:pelado            | 0.0530167                | 2         | 0.0265083             | 52.43          | 0.0000         |
| C:variedad          | 0.0220028                | 1         | 0.0220028             | 43.52          | 0.0000         |
| Interacciones       |                          |           |                       |                |                |
| AB                  | 0.02345                  | 2         | 0.011725              | 23.19          | 0.0000         |
| AC                  | 0.0000694444             | 1         | 0.0000694444          | 0.14           | 0.7142         |
| BC                  | 0.00743889               | 2         | 0.00371944            | 7.36           | 0.0032         |
| ABC                 | 0.00353889               | 2         | 0.00176944            | 3.50           | 0.0464         |
| Restos              | 0.0121333                | 24        | 0.000505556           |                |                |
| Total               | 0.121875                 | 35        |                       |                |                |

### Pruebas de Múltiple Rangos para cohesividad

| Tratamiento | Casos | Media LS | Sigma LS  | Grupos Homogéneos |
|-------------|-------|----------|-----------|-------------------|
| AMSP SC     | 3     | 0.69     | 0.0129815 | X                 |
| AMPCA C/D   | 3     | 0.74     | 0.0129815 | X                 |
| PESP SC     | 3     | 0.746667 | 0.0129815 | XX                |
| AMPCA SC    | 3     | 0.75     | 0.0129815 | XX                |
| AMPSA C/D   | 3     | 0.753333 | 0.0129815 | XXX               |
| PEPCA SC    | 3     | 0.763333 | 0.0129815 | XXX               |
| PEPCA C/D   | 3     | 0.78     | 0.0129815 | XX                |
| AMSP C/D    | 3     | 0.783333 | 0.0129815 | XX                |
| PESP C/D    | 3     | 0.79     | 0.0129815 | X                 |
| AMPSA SC    | 3     | 0.83     | 0.0129815 | X                 |
| PEPSA C/D   | 3     | 0.863333 | 0.0129815 | XX                |
| PEPSA SC    | 3     | 0.9      | 0.0129815 | X                 |

**Tabla F.4: ANOVA para elasticidad**

| Fuente              | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Efectos principales |                   |    |                |         |         |
| A:congelación       | 0.00613611        | 1  | 0.00613611     | 21.45   | 0.0001  |
| B:pelado            | 0.0117361         | 1  | 0.0117361      | 41.02   | 0.0000  |
| C:variedad          | 0.0458389         | 2  | 0.0229194      | 80.11   | 0.0000  |
| Interacciones       |                   |    |                |         |         |
| AB                  | 0.000025          | 1  | 0.000025       | 0.09    | 0.7701  |
| AC                  | 0.00227222        | 2  | 0.00113611     | 3.97    | 0.0324  |
| BC                  | 0.00237222        | 2  | 0.00118611     | 4.15    | 0.0284  |
| ABC                 | 0.00331667        | 2  | 0.00165833     | 5.80    | 0.0088  |
| Restos              | 0.00686667        | 24 | 0.000286111    |         |         |
| Total               | 0.0785639         | 35 |                |         |         |

### Pruebas de Múltiple Rangos para elasticidad

| Tratamiento | Casos | Media LS | Sigma LS   | Grupos Homogéneos |
|-------------|-------|----------|------------|-------------------|
| AMSP SC     | 3     | 0.773333 | 0.00976578 | X                 |
| PESP SC     | 3     | 0.806667 | 0.00976578 | X                 |
| AMPCA SC    | 3     | 0.806667 | 0.00976578 | X                 |
| AMPCA C/D   | 3     | 0.81     | 0.00976578 | XX                |
| PEPCA SC    | 3     | 0.83     | 0.00976578 | XX                |
| PESP C/D    | 3     | 0.83     | 0.00976578 | XX                |
| AMSP C/D    | 3     | 0.836667 | 0.00976578 | X                 |
| AMPSA SC    | 3     | 0.87     | 0.00976578 | X                 |
| AMPSA C/D   | 3     | 0.876667 | 0.00976578 | X                 |
| PEPCA C/D   | 3     | 0.886667 | 0.00976578 | X                 |
| PEPSA SC    | 3     | 0.916667 | 0.00976578 | X                 |
| PEPSA C/D   | 3     | 0.92     | 0.00976578 | X                 |

**Tabla F.5: ANOVA para gomosidad**

| Fuente              | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Efectos principales |                   |    |                |         |         |
| A:congelación       | 437.995           | 1  | 437.995        | 92.63   | 0.0000  |
| B:pelado            | 823.403           | 1  | 823.403        | 174.14  | 0.0000  |
| C:variedad          | 2423.53           | 2  | 1211.76        | 256.28  | 0.0000  |
| Interacciones       |                   |    |                |         |         |
| AB                  | 89.5231           | 1  | 89.5231        | 18.93   | 0.0002  |
| AC                  | 45.4871           | 2  | 22.7435        | 4.81    | 0.0175  |
| BC                  | 147.824           | 2  | 73.9122        | 15.63   | 0.0000  |
| ABC                 | 96.9049           | 2  | 48.4524        | 10.25   | 0.0006  |
| Restos              | 113.479           | 24 | 4.72829        |         |         |
| Total               | 4178.14           | 35 |                |         |         |

**Pruebas de Múltiple Rangos para gomosidad**

| Tratamiento | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
|-------------|-------|----------|----------|-------------------|
| PEPSA D     | 3     | 17.9667  | 1.25543  | X                 |
| PEPSA 1     | 3     | 19.31    | 1.25543  | X                 |
| AMPSA D     | 3     | 25.1033  | 1.25543  | X                 |
| PEPCA D     | 3     | 25.7767  | 1.25543  | X                 |
| AMPCA D     | 3     | 30.6967  | 1.25543  | X                 |
| AMPSA 1     | 3     | 31.8     | 1.25543  | X                 |
| AMSP D      | 3     | 36.55    | 1.25543  | X                 |
| PESP D      | 3     | 37.14    | 1.25543  | X                 |
| PEPCA 1     | 3     | 37.4633  | 1.25543  | X                 |
| AMPCA 1     | 3     | 41.1733  | 1.25543  | X                 |
| PESP 1      | 3     | 43.3433  | 1.25543  | X                 |
| AMSP 1      | 3     | 57.5333  | 1.25543  | X                 |

**ANEXO 11: ANOVA Y LSD PARA EL COLOR DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL EFECTO DEL ALMACENAMIENTO EN CONGELACIÓN**

**Tabla G.1: ANOVA para L\***

| Fuente              | Suma de Cuadrados | Gl  | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------------|-------------------|-----|----------------|---------|---------|
| Efectos principales |                   |     |                |         |         |
| A:congelación       | 9.38407           | 1   | 9.38407        | 2.53    | 0.1148  |
| B:pelado            | 543.692           | 8   | 67.9616        | 18.31   | 0.0000  |
| C:variedad          | 1132.8            | 2   | 566.398        | 152.58  | 0.0000  |
| Interacciones       |                   |     |                |         |         |
| AB                  | 21.3904           | 8   | 2.6738         | 0.72    | 0.6732  |
| AC                  | 213.877           | 2   | 106.939        | 28.81   | 0.0000  |
| BC                  | 78.0484           | 16  | 4.87803        | 1.31    | 0.2018  |
| ABC                 | 74.5615           | 16  | 4.66009        | 1.26    | 0.2396  |
| Restos              | 400.904           | 108 | 3.71207        |         |         |
| Total               | 2474.65           | 161 |                |         |         |

**Pruebas de Múltiple Rangos para L\***

| Tratamiento: AMSP/sem.  | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
|-------------------------|-------|----------|----------|-------------------|
| 16                      | 3     | 63.29    | 0.527785 | x                 |
| 12                      | 3     | 63.33    | 0.527785 | x                 |
| 10                      | 3     | 63.33    | 0.527785 | x                 |
| 14                      | 3     | 63.33    | 0.527785 | x                 |
| 8                       | 3     | 64.34    | 0.527785 | x                 |
| 6                       | 3     | 64.65    | 0.527785 | x                 |
| 4                       | 3     | 66.98    | 0.527785 | x                 |
| 0                       | 3     | 69.1467  | 0.527785 | x                 |
| 2                       | 3     | 69.32    | 0.527785 | x                 |
| Tratamiento: AMPSA/sem. | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
| 10                      | 3     | 66.19    | 0.418441 | x                 |
| 14                      | 3     | 66.21    | 0.418441 | x                 |
| 16                      | 3     | 66.22    | 0.418441 | x                 |
| 12                      | 3     | 66.22    | 0.418441 | x                 |
| 8                       | 3     | 67.53    | 0.418441 | x                 |
| 4                       | 3     | 68.84    | 0.418441 | x                 |
| 6                       | 3     | 68.95    | 0.418441 | x                 |
| 2                       | 3     | 71.71    | 0.418441 | x                 |
| 0                       | 3     | 71.76    | 0.418441 | x                 |
| Tratamiento: AMPCA/sem. | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
| 16                      | 3     | 67.68    | 0.484187 | x                 |
| 14                      | 3     | 67.7     | 0.484187 | x                 |
| 12                      | 3     | 67.71    | 0.484187 | x                 |
| 10                      | 3     | 67.93    | 0.484187 | x                 |
| 8                       | 3     | 68.12    | 0.484187 | x                 |

|                                |              |                 |                 |                          |
|--------------------------------|--------------|-----------------|-----------------|--------------------------|
| 6                              | 3            | 68.92           | 0.484187        | XX                       |
| 4                              | 3            | 69.03           | 0.484187        | XX                       |
| 2                              | 3            | 70.14           | 0.484187        | XX                       |
| 0                              | 3            | 71.3            | 0.484187        | X                        |
| <b>Tratamiento: PESP/sem.</b>  | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
| 16                             | 3            | 60.04           | 0.79173         | X                        |
| 14                             | 3            | 60.04           | 0.79173         | X                        |
| 10                             | 3            | 60.11           | 0.79173         | X                        |
| 12                             | 3            | 60.16           | 0.79173         | X                        |
| 8                              | 3            | 61.07           | 0.79173         | XX                       |
| 6                              | 3            | 62.6            | 0.79173         | X                        |
| 4                              | 3            | 66.17           | 0.79173         | X                        |
| 2                              | 3            | 66.2            | 0.79173         | X                        |
| 0                              | 3            | 66.41           | 0.79173         | X                        |
| <b>Tratamiento: PEPSA/sem.</b> | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
| 10                             | 3            | 69.47           | 0.725031        | X                        |
| 14                             | 3            | 69.56           | 0.725031        | X                        |
| 12                             | 3            | 69.56           | 0.725031        | X                        |
| 16                             | 3            | 69.58           | 0.725031        | X                        |
| 8                              | 3            | 69.93           | 0.725031        | X                        |
| 6                              | 3            | 71.42           | 0.725031        | X                        |
| 4                              | 3            | 71.52           | 0.725031        | X                        |
| 2                              | 3            | 73.76           | 0.725031        | X                        |
| 0                              | 3            | 74.36           | 0.725031        | X                        |
| <b>Tratamiento: PEPCA/sem.</b> | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
| 14                             | 3            | 69.32           | 0.194594        | X                        |
| 12                             | 3            | 69.33           | 0.194594        | X                        |
| 16                             | 3            | 69.33           | 0.194594        | X                        |
| 10                             | 3            | 69.36           | 0.194594        | X                        |
| 8                              | 3            | 69.36           | 0.194594        | X                        |
| 6                              | 3            | 70.76           | 0.194594        | X                        |
| 4                              | 3            | 71.96           | 0.194594        | X                        |
| 2                              | 3            | 74.04           | 0.194594        | X                        |
| 0                              | 3            | 74.12           | 0.194594        | X                        |

**Tabla G.2: ANOVA para a\***

| <b>Fuente</b>       | <b>Suma de Cuadrados</b> | <b>Gl</b> | <b>Cuadrado Medio</b> | <b>Razón-F</b> | <b>Valor-P</b> |
|---------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| Efectos principales |                          |           |                       |                |                |
| A:congelación       | 1331.99                  | 1         | 1331.99               | 19590.08       | 0.0000         |
| B:pelado            | 1.62967                  | 2         | 0.814837              | 11.98          | 0.0000         |
| C:variedad          | 3.33384                  | 8         | 0.416731              | 6.13           | 0.0000         |
| Interacciones       |                          |           |                       |                |                |
| AB                  | 34.56                    | 2         | 17.28                 | 254.14         | 0.0000         |
| AC                  | 2.44086                  | 8         | 0.305107              | 4.49           | 0.0001         |
| BC                  | 2.70568                  | 16        | 0.169105              | 2.49           | 0.0029         |
| ABC                 | 3.10962                  | 16        | 0.194351              | 2.86           | 0.0007         |
| Restos              | 7.34323                  | 108       | 0.0679928             |                |                |
| Total               | 1387.11                  | 161       |                       |                |                |

### Pruebas de Múltiple Rangos para a\*

| <b>Tratamiento:<br/>AMSP/sem.</b>  | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
|------------------------------------|--------------|-----------------|-----------------|--------------------------|
| 0                                  | 3            | 2.3             | 0.054709        | X                        |
| 16                                 | 3            | 2.43            | 0.054709        | XX                       |
| 10                                 | 3            | 2.5             | 0.054709        | XX                       |
| 8                                  | 3            | 2.5             | 0.054709        | XX                       |
| 6                                  | 3            | 2.5             | 0.054709        | XX                       |
| 14                                 | 3            | 2.55            | 0.054709        | XX                       |
| 4                                  | 3            | 2.641           | 0.054709        | XX                       |
| 12                                 | 3            | 2.75            | 0.054709        | XX                       |
| 2                                  | 3            | 2.84            | 0.054709        | X                        |
| <b>Tratamiento:<br/>AMPSA/sem.</b> | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
| 4                                  | 3            | 3.29            | 0.198839        | X                        |
| 10                                 | 3            | 3.32            | 0.198839        | X                        |
| 8                                  | 3            | 3.33            | 0.198839        | X                        |
| 6                                  | 3            | 3.34            | 0.198839        | X                        |
| 12                                 | 3            | 3.4             | 0.198839        | X                        |
| 14                                 | 3            | 3.45            | 0.198839        | X                        |
| 16                                 | 3            | 3.48            | 0.198839        | XX                       |
| 0                                  | 3            | 3.49            | 0.198839        | XX                       |
| 2                                  | 3            | 4.05            | 0.198839        | X                        |
| <b>Tratamiento:<br/>AMPCA/sem.</b> | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
| 6                                  | 3            | 3.39            | 0.183969        | X                        |
| 10                                 | 3            | 3.41            | 0.183969        | X                        |
| 4                                  | 3            | 3.41            | 0.183969        | X                        |
| 8                                  | 3            | 3.42            | 0.183969        | X                        |
| 12                                 | 3            | 3.45            | 0.183969        | X                        |
| 16                                 | 3            | 3.46            | 0.183969        | X                        |
| 14                                 | 3            | 3.48            | 0.183969        | X                        |
| 0                                  | 3            | 3.67            | 0.183969        | X                        |
| 2                                  | 3            | 4.35            | 0.183969        | X                        |
| <b>Tratamiento:<br/>PESP/sem.</b>  | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
| 12                                 | 3            | -2.75           | 0.142422        | X                        |
| 0                                  | 3            | -2.24           | 0.142422        | X                        |
| 2                                  | 3            | -2.07667        | 0.142422        | XX                       |
| 4                                  | 3            | -1.73667        | 0.142422        | XX                       |
| 14                                 | 3            | -1.66           | 0.142422        | XX                       |
| 16                                 | 3            | -1.65           | 0.142422        | X                        |
| 10                                 | 3            | -1.62           | 0.142422        | X                        |
| 6                                  | 3            | -1.62           | 0.142422        | X                        |
| 8                                  | 3            | -1.59           | 0.142422        | X                        |
| <b>Tratamiento:<br/>PEPSA/sem.</b> | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
| 16                                 | 3            | -3.4            | 0.171381        | X                        |
| 12                                 | 3            | -3.28           | 0.171381        | X                        |
| 10                                 | 3            | -3.27           | 0.171381        | X                        |
| 8                                  | 3            | -3.25           | 0.171381        | X                        |
| 6                                  | 3            | -3.25           | 0.171381        | X                        |
| 14                                 | 3            | -3.22           | 0.171381        | X                        |
| 0                                  | 3            | -3.05           | 0.171381        | X                        |
| 2                                  | 3            | -2.48667        | 0.171381        | X                        |
| 4                                  | 3            | -2.4            | 0.171381        | X                        |



| Tratamiento:<br>PEPCA/sem. | Casos | Media LS | Sigma LS  | Grupos Homogéneos |
|----------------------------|-------|----------|-----------|-------------------|
| 0                          | 3     | -3.0     | 0.0997775 | X                 |
| 6                          | 3     | -2.67    | 0.0997775 | X                 |
| 12                         | 3     | -2.65    | 0.0997775 | X                 |
| 14                         | 3     | -2.64    | 0.0997775 | X                 |
| 4                          | 3     | -2.63    | 0.0997775 | X                 |
| 8                          | 3     | -2.63    | 0.0997775 | X                 |
| 16                         | 3     | -2.63    | 0.0997775 | X                 |
| 2                          | 3     | -2.63    | 0.0997775 | X                 |
| 10                         | 3     | -2.61    | 0.0997775 | X                 |

**Tabla G.3: ANOVA para b\***

| Fuente              | Suma de Cuadrados | Gl  | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------------|-------------------|-----|----------------|---------|---------|
| Efectos principales |                   |     |                |         |         |
| A:congelación       | 196.306           | 1   | 196.306        | 11.61   | 0.0009  |
| B:pelado            | 845.695           | 2   | 422.848        | 25.00   | 0.0000  |
| C:variedad          | 1092.15           | 8   | 136.519        | 8.07    | 0.0000  |
| Interacciones       |                   |     |                |         |         |
| AB                  | 1026.74           | 2   | 513.371        | 30.36   | 0.0000  |
| AC                  | 173.572           | 8   | 21.6965        | 1.28    | 0.2599  |
| BC                  | 251.087           | 16  | 15.6929        | 0.93    | 0.5399  |
| ABC                 | 333.992           | 16  | 20.8745        | 1.23    | 0.2543  |
| Restos              | 1826.39           | 108 | 16.911         |         |         |
| Total               | 5745.93           | 161 |                |         |         |

**Pruebas de Múltiple Rangos para b\***

| Tratamiento:<br>AMSP/sem.  | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
|----------------------------|-------|----------|----------|-------------------|
| 12                         | 3     | 44.3     | 0.43356  | X                 |
| 14                         | 3     | 44.31    | 0.43356  | X                 |
| 16                         | 3     | 44.34    | 0.43356  | X                 |
| 10                         | 3     | 44.36    | 0.43356  | X                 |
| 8                          | 3     | 44.42    | 0.43356  | X                 |
| 6                          | 3     | 44.8     | 0.43356  | X                 |
| 4                          | 3     | 45.44    | 0.43356  | XX                |
| 2                          | 3     | 45.54    | 0.43356  | XX                |
| 0                          | 3     | 46.24    | 0.43356  | X                 |
| Tratamiento:<br>AMPSA/sem. | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
| 16                         | 3     | 42.13    | 0.560856 | X                 |
| 14                         | 3     | 42.15    | 0.560856 | X                 |
| 12                         | 3     | 42.16    | 0.560856 | X                 |
| 10                         | 3     | 42.79    | 0.560856 | X                 |
| 8                          | 3     | 43.75    | 0.560856 | XX                |
| 6                          | 3     | 44.52    | 0.560856 | XX                |
| 4                          | 3     | 45.9     | 0.560856 | XX                |
| 2                          | 3     | 46.38    | 0.560856 | XX                |
| 0                          | 3     | 47.86    | 0.560856 | X                 |

| Tratamiento:<br>AMPCA/sem. | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
|----------------------------|-------|----------|----------|-------------------|
| 4                          | 3     | 43.2     | 0.789756 | X                 |
| 16                         | 3     | 45.25    | 0.789756 | XX                |
| 14                         | 3     | 45.26    | 0.789756 | XX                |
| 12                         | 3     | 45.27    | 0.789756 | XX                |
| 10                         | 3     | 45.28    | 0.789756 | XX                |
| 8                          | 3     | 45.29    | 0.789756 | XX                |
| 6                          | 3     | 46.14    | 0.789756 | XX                |
| 2                          | 3     | 48.13    | 0.789756 | X                 |
| 0                          | 3     | 50.79    | 0.789756 | X                 |
| Tratamiento:<br>PESP/sem.  | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
| 16                         | 3     | 32.5     | 1.01495  | X                 |
| 14                         | 3     | 32.52    | 1.01495  | X                 |
| 12                         | 3     | 32.98    | 1.01495  | X                 |
| 10                         | 3     | 33.15    | 1.01495  | X                 |
| 8                          | 3     | 34.53    | 1.01495  | X                 |
| 6                          | 3     | 35.13    | 1.01495  | XX                |
| 4                          | 3     | 37.83    | 1.01495  | XX                |
| 2                          | 3     | 39.92    | 1.01495  | XX                |
| 0                          | 3     | 41.5     | 1.01495  | X                 |
| Tratamiento:<br>PEPSA/sem. | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
| 16                         | 3     | 43.29    | 3.46672  | X                 |
| 12                         | 3     | 43.3     | 3.46672  | X                 |
| 14                         | 3     | 43.3     | 3.46672  | X                 |
| 10                         | 3     | 43.33    | 3.46672  | X                 |
| 8                          | 3     | 43.54    | 3.46672  | X                 |
| 6                          | 3     | 44.38    | 3.46672  | X                 |
| 4                          | 3     | 45.9433  | 3.46672  | X                 |
| 2                          | 3     | 47.47    | 3.46672  | X                 |
| 0                          | 3     | 59.7     | 3.46672  | X                 |
| Tratamiento:<br>PEPCA/sem. | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
| 16                         | 3     | 43.48    | 0.653996 | X                 |
| 14                         | 3     | 43.5     | 0.653996 | X                 |
| 12                         | 3     | 43.59    | 0.653996 | X                 |
| 10                         | 3     | 43.76    | 0.653996 | X                 |
| 8                          | 3     | 43.87    | 0.653996 | X                 |
| 6                          | 3     | 46.19    | 0.653996 | X                 |
| 4                          | 3     | 47.45    | 0.653996 | XX                |
| 2                          | 3     | 48.03    | 0.653996 | XX                |
| 0                          | 3     | 49.04    | 0.653996 | X                 |

**Tabla G.4: ANOVA para  $\Delta E^*$**

| Fuente              | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Efectos principales |                   |    |                |         |         |
| A:congelación       | 48.8621           | 1  | 48.8621        | 176.41  | 0.0000  |
| B:pelado            | 17.3119           | 2  | 8.65594        | 31.25   | 0.0000  |
| C:variedad          | 1275.51           | 8  | 159.439        | 575.62  | 0.0000  |
| Interacciones       |                   |    |                |         |         |

|        |         |     |          |        |        |
|--------|---------|-----|----------|--------|--------|
| AB     | 62.1881 | 2   | 31.0941  | 112.26 | 0.0000 |
| AC     | 28.6238 | 8   | 3.57798  | 12.92  | 0.0000 |
| BC     | 29.6156 | 16  | 1.85097  | 6.68   | 0.0000 |
| ABC    | 34.848  | 16  | 2.178    | 7.86   | 0.0000 |
| Restos | 29.9145 | 108 | 0.276986 |        |        |
| Total  | 1526.87 | 161 |          |        |        |

### Pruebas de Múltiple Rangos para $\Delta E^*$

| Tratamiento:<br>AMSP/sem.  | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
|----------------------------|-------|----------|----------|-------------------|
| 2                          | 3     | 0.92     | 0.366116 | X                 |
| 4                          | 3     | 2.64     | 0.366116 | X                 |
| 6                          | 3     | 5.03     | 0.366116 | X                 |
| 8                          | 3     | 5.44     | 0.366116 | XX                |
| 10                         | 3     | 6.42     | 0.366116 | X                 |
| 14                         | 3     | 6.43     | 0.366116 | X                 |
| 12                         | 3     | 6.44     | 0.366116 | X                 |
| 16                         | 3     | 6.46     | 0.366116 | X                 |
| Tratamiento:<br>AMPSA/sem. | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
| 2                          | 3     | 1.58     | 0.208051 | X                 |
| 4                          | 3     | 3.5      | 0.208051 | X                 |
| 6                          | 3     | 4.37     | 0.208051 | X                 |
| 8                          | 3     | 5.9      | 0.208051 | X                 |
| 10                         | 3     | 7.53     | 0.208051 | X                 |
| 12                         | 3     | 7.95     | 0.208051 | X                 |
| 14                         | 3     | 7.96     | 0.208051 | X                 |
| 16                         | 3     | 7.97     | 0.208051 | X                 |
| Tratamiento:<br>AMPCA/sem. | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
| 2                          | 3     | 2.98     | 0.437332 | X                 |
| 4                          | 3     | 5.13     | 0.437332 | X                 |
| 6                          | 3     | 5.23     | 0.437332 | XX                |
| 8                          | 3     | 6.36     | 0.437332 | XXX               |
| 10                         | 3     | 6.46     | 0.437332 | XX                |
| 12                         | 3     | 6.59     | 0.437332 | X                 |
| 14                         | 3     | 6.6      | 0.437332 | X                 |
| 16                         | 3     | 6.62     | 0.437332 | X                 |
| Tratamiento:<br>PESP/sem.  | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
| 2                          | 3     | 1.61     | 0.24841  | X                 |
| 4                          | 3     | 3.73     | 0.24841  | X                 |
| 6                          | 3     | 7.45     | 0.24841  | X                 |
| 8                          | 3     | 8.8      | 0.24841  | X                 |
| 10                         | 3     | 10.48    | 0.24841  | X                 |
| 12                         | 3     | 10.65    | 0.24841  | X                 |
| 14                         | 3     | 11.03    | 0.24841  | X                 |
| 16                         | 3     | 11.04    | 0.24841  | X                 |
| Tratamiento:<br>PEPSA/sem. | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
| 2                          | 3     | 2.39     | 0.310008 | X                 |
| 4                          | 3     | 4.79     | 0.310008 | X                 |
| 6                          | 3     | 6.09     | 0.310008 | X                 |

|                                    |              |                 |                 |                          |
|------------------------------------|--------------|-----------------|-----------------|--------------------------|
| 8                                  | 3            | 7.6             | 0.310008        | X                        |
| 12                                 | 3            | 8.01            | 0.310008        | X                        |
| 14                                 | 3            | 8.01667         | 0.310008        | X                        |
| 16                                 | 3            | 8.02            | 0.310008        | X                        |
| 10                                 | 3            | 8.04            | 0.310008        | X                        |
| <b>Tratamiento:<br/>PEPCA/sem.</b> | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
| 2                                  | 3            | 1.08            | 0.166054        | X                        |
| 4                                  | 3            | 2.7             | 0.166054        | X                        |
| 6                                  | 3            | 4.42            | 0.166054        | X                        |
| 8                                  | 3            | 7.04            | 0.166054        | X                        |
| 10                                 | 3            | 7.23            | 0.166054        | X                        |
| 12                                 | 3            | 7.26            | 0.166054        | X                        |
| 14                                 | 3            | 7.34            | 0.166054        | X                        |
| 16                                 | 3            | 7.35            | 0.166054        | X                        |

**Tabla G.5: ANOVA para YI**

| Fuente              | Suma de Cuadrados | Gl  | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------------|-------------------|-----|----------------|---------|---------|
| Efectos principales |                   |     |                |         |         |
| A:congelación       | 2636.27           | 1   | 2636.27        | 7089.46 | 0.0000  |
| B:pelado            | 520.175           | 2   | 260.088        | 699.43  | 0.0000  |
| C:variedad          | 350.077           | 8   | 43.7596        | 117.68  | 0.0000  |
| Interacciones       |                   |     |                |         |         |
| AB                  | 1677.15           | 2   | 838.577        | 2255.10 | 0.0000  |
| AC                  | 205.603           | 8   | 25.7004        | 69.11   | 0.0000  |
| BC                  | 53.0522           | 16  | 3.31577        | 8.92    | 0.0000  |
| ABC                 | 350.455           | 16  | 21.9034        | 58.90   | 0.0000  |
| Restos              | 40.1606           | 108 | 0.371857       |         |         |
| Total               | 5832.94           | 161 |                |         |         |

**Pruebas de Múltiple Rangos para YI**

| Tratamiento:<br>AMSP/sem.  | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
|----------------------------|-------|----------|----------|-------------------|
| 2                          | 3     | 93.87    | 0.374514 | X                 |
| 0                          | 3     | 94.8333  | 0.374514 | X                 |
| 4                          | 3     | 96.91    | 0.374514 | X                 |
| 8                          | 3     | 98.64    | 0.374514 | X                 |
| 6                          | 3     | 98.99    | 0.374514 | XX                |
| 12                         | 3     | 99.93    | 0.374514 | X                 |
| 14                         | 3     | 99.96    | 0.374514 | X                 |
| 10                         | 3     | 100.08   | 0.374514 | X                 |
| 16                         | 3     | 100.09   | 0.374514 | X                 |
| Tratamiento:<br>AMPSA/sem. | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
| 16                         | 3     | 90.89    | 0.331361 | X                 |
| 12                         | 3     | 90.95    | 0.331361 | X                 |
| 14                         | 3     | 90.97    | 0.331361 | X                 |
| 6                          | 3     | 92.24    | 0.331361 | X                 |
| 10                         | 3     | 92.36    | 0.331361 | X                 |

|                                    |              |                 |                 |                          |
|------------------------------------|--------------|-----------------|-----------------|--------------------------|
| 2                                  | 3            | 92.4            | 0.331361        | X                        |
| 8                                  | 3            | 92.55           | 0.331361        | X                        |
| 4                                  | 3            | 95.21           | 0.331361        | X                        |
| 0                                  | 3            | 95.28           | 0.331361        | X                        |
| <b>Tratamiento:<br/>AMPCA/sem.</b> | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
| 8                                  | 3            | 94.94           | 0.399084        | X                        |
| 10                                 | 3            | 95.23           | 0.399084        | X                        |
| 12                                 | 3            | 95.51           | 0.399084        | X                        |
| 16                                 | 3            | 95.51           | 0.399084        | X                        |
| 14                                 | 3            | 95.51           | 0.399084        | X                        |
| 4                                  | 3            | 95.61           | 0.399084        | X                        |
| 6                                  | 3            | 95.6367         | 0.399084        | X                        |
| 2                                  | 3            | 98.03           | 0.399084        | X                        |
| 0                                  | 3            | 101.77          | 0.399084        | X                        |
| <b>Tratamiento:<br/>PESP/sem.</b>  | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
| 16                                 | 3            | 77.33           | 0.381409        | X                        |
| 14                                 | 3            | 77.38           | 0.381409        | XX                       |
| 12                                 | 3            | 78.4833         | 0.381409        | XX                       |
| 10                                 | 3            | 78.79           | 0.381409        | X                        |
| 6                                  | 3            | 80.06           | 0.381409        | X                        |
| 8                                  | 3            | 80.78           | 0.381409        | XX                       |
| 4                                  | 3            | 81.6367         | 0.381409        | X                        |
| 2                                  | 3            | 86.15           | 0.381409        | X                        |
| 0                                  | 3            | 89.27           | 0.381409        | X                        |
| <b>Tratamiento:<br/>PEPSA/sem.</b> | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
| 10                                 | 3            | 88.5867         | 0.248512        | X                        |
| 6                                  | 3            | 88.77           | 0.248512        | X                        |
| 16                                 | 3            | 88.9067         | 0.248512        | X                        |
| 12                                 | 3            | 88.93           | 0.248512        | X                        |
| 14                                 | 3            | 88.93           | 0.248512        | X                        |
| 8                                  | 3            | 88.95           | 0.248512        | X                        |
| 4                                  | 3            | 91.7            | 0.248512        | X                        |
| 2                                  | 3            | 91.93           | 0.248512        | X                        |
| 0                                  | 3            | 95.5            | 0.248512        | X                        |
| <b>Tratamiento:<br/>PEPCA/sem.</b> | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
| 16                                 | 3            | 89.59           | 0.356589        | X                        |
| 12                                 | 3            | 89.62           | 0.356589        | X                        |
| 14                                 | 3            | 89.65           | 0.356589        | X                        |
| 10                                 | 3            | 90.13           | 0.356589        | X                        |
| 8                                  | 3            | 90.36           | 0.356589        | X                        |
| 2                                  | 3            | 92.67           | 0.356589        | X                        |
| 6                                  | 3            | 93.25           | 0.356589        | XX                       |
| 4                                  | 3            | 94.19           | 0.356589        | XX                       |
| 0                                  | 3            | 94.52           | 0.356589        | X                        |

**ANEXO 12: ANOVA Y LSD PARA EL PH DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL EFECTO DEL ALMACENAMIENTO EN CONGELACIÓN**

**Tabla H: ANOVA para pH**

| Fuente              | Suma de Cuadrados | Gl  | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------------|-------------------|-----|----------------|---------|---------|
| Efectos principales |                   |     |                |         |         |
| A:congelación       | 0.0522722         | 1   | 0.0522722      | 39.64   | 0.0000  |
| B:pelado            | 0.484             | 8   | 0.0605         | 45.88   | 0.0000  |
| C:variedad          | 0.368433          | 2   | 0.184217       | 139.71  | 0.0000  |
| Interacciones       |                   |     |                |         |         |
| AB                  | 0.0143778         | 8   | 0.00179722     | 1.36    | 0.2210  |
| AC                  | 0.0328111         | 2   | 0.0164056      | 12.44   | 0.0000  |
| BC                  | 0.0389667         | 16  | 0.00243542     | 1.85    | 0.0338  |
| ABC                 | 0.00478889        | 16  | 0.000299306    | 0.23    | 0.9992  |
| Restos              | 0.1424            | 108 | 0.00131852     |         |         |
| Total               | 1.13805           | 161 |                |         |         |

**Pruebas de Múltiple Rangos para pH**

| Tratamiento: AMSP/sem.  | Casos | Media LS | Sigma LS  | Grupos Homogéneos |
|-------------------------|-------|----------|-----------|-------------------|
| 16                      | 3     | 6.08     | 0.0274874 | X                 |
| 14                      | 3     | 6.1      | 0.0274874 | X                 |
| 12                      | 3     | 6.11     | 0.0274874 | XX                |
| 10                      | 3     | 6.15     | 0.0274874 | XXX               |
| 8                       | 3     | 6.19     | 0.0274874 | XX                |
| 6                       | 3     | 6.19     | 0.0274874 | XX                |
| 4                       | 3     | 6.2      | 0.0274874 | XX                |
| 2                       | 3     | 6.28     | 0.0274874 | XX                |
| 0                       | 3     | 6.33     | 0.0274874 | X                 |
| Tratamiento: AMPSA/sem. | Casos | Media LS | Sigma LS  | Grupos Homogéneos |
| 14                      | 3     | 6.24     | 0.0168874 | X                 |
| 12                      | 3     | 6.24     | 0.0168874 | X                 |
| 16                      | 3     | 6.24     | 0.0168874 | X                 |
| 10                      | 3     | 6.25     | 0.0168874 | XX                |
| 8                       | 3     | 6.28     | 0.0168874 | XXX               |
| 6                       | 3     | 6.3      | 0.0168874 | XXX               |
| 4                       | 3     | 6.31     | 0.0168874 | XX                |
| 2                       | 3     | 6.34     | 0.0168874 | X                 |
| 0                       | 3     | 6.4      | 0.0168874 | X                 |
| Tratamiento: AMPCA/sem. | Casos | Media LS | Sigma LS  | Grupos Homogéneos |
| 14                      | 3     | 6.21     | 0.0232538 | X                 |
| 12                      | 3     | 6.21     | 0.0232538 | X                 |
| 16                      | 3     | 6.21     | 0.0232538 | X                 |
| 10                      | 3     | 6.22     | 0.0232538 | X                 |
| 8                       | 3     | 6.22     | 0.0232538 | X                 |

|                                |              |                 |                 |                          |
|--------------------------------|--------------|-----------------|-----------------|--------------------------|
| 6                              | 3            | 6.24            | 0.0232538       | XX                       |
| 4                              | 3            | 6.25            | 0.0232538       | XX                       |
| 2                              | 3            | 6.29            | 0.0232538       | XX                       |
| 0                              | 3            | 6.33            | 0.0232538       | X                        |
| <b>Tratamiento: PESP/sem.</b>  | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
| 16                             | 3            | 6.07            | 0.0213437       | X                        |
| 14                             | 3            | 6.08            | 0.0213437       | X                        |
| 12                             | 3            | 6.09            | 0.0213437       | XX                       |
| 10                             | 3            | 6.1             | 0.0213437       | XX                       |
| 8                              | 3            | 6.15            | 0.0213437       | XX                       |
| 6                              | 3            | 6.19            | 0.0213437       | XX                       |
| 4                              | 3            | 6.23            | 0.0213437       | XX                       |
| 0                              | 3            | 6.26            | 0.0213437       | X                        |
| 2                              | 3            | 6.26            | 0.0213437       | X                        |
| <b>Tratamiento: PEPSA/sem.</b> | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
| 14                             | 3            | 6.23            | 0.0214303       | X                        |
| 12                             | 3            | 6.23            | 0.0214303       | X                        |
| 16                             | 3            | 6.23            | 0.0214303       | X                        |
| 10                             | 3            | 6.25            | 0.0214303       | XX                       |
| 8                              | 3            | 6.27            | 0.0214303       | XX                       |
| 6                              | 3            | 6.29            | 0.0214303       | XXX                      |
| 4                              | 3            | 6.31            | 0.0214303       | XX                       |
| 2                              | 3            | 6.35            | 0.0214303       | X                        |
| 0                              | 3            | 6.35            | 0.0214303       | X                        |
| <b>Tratamiento: PEPCA/sem.</b> | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
| 14                             | 3            | 6.12            | 0.0118634       | X                        |
| 16                             | 3            | 6.12            | 0.0118634       | X                        |
| 10                             | 3            | 6.13            | 0.0118634       | X                        |
| 12                             | 3            | 6.13            | 0.0118634       | X                        |
| 8                              | 3            | 6.14            | 0.0118634       | X                        |
| 6                              | 3            | 6.18            | 0.0118634       | X                        |
| 4                              | 3            | 6.22            | 0.0118634       | X                        |
| 2                              | 3            | 6.23            | 0.0118634       | X                        |
| 0                              | 3            | 6.23            | 0.0118634       | X                        |

**ANEXO 13: ANOVA Y LSD PARA EL CONTENIDO DE MATERIA SECA DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL EFECTO DEL ALMACENAMIENTO EN CONGELACIÓN**

**Tabla I: ANOVA para materia seca**

| Fuente              | Suma de Cuadrados | Gl  | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------------|-------------------|-----|----------------|---------|---------|
| Efectos principales |                   |     |                |         |         |
| A:congelación       | 1.37227           | 1   | 1.37227        | 2.43    | 0.1220  |
| B:pelado            | 795.013           | 2   | 397.507        | 703.79  | 0.0000  |
| C:variedad          | 12.4315           | 8   | 1.55394        | 2.75    | 0.0084  |
| Interacciones       |                   |     |                |         |         |
| AB                  | 66.5732           | 2   | 33.2866        | 58.93   | 0.0000  |
| AC                  | 4.92498           | 8   | 0.615622       | 1.09    | 0.3758  |
| BC                  | 8.02242           | 16  | 0.501401       | 0.89    | 0.5846  |
| ABC                 | 5.72129           | 16  | 0.357581       | 0.63    | 0.8507  |
| Restos              | 60.9996           | 108 | 0.564811       |         |         |
| Total               | 955.058           | 161 |                |         |         |

**Pruebas de Múltiple Rangos para materia seca**

| Tratamiento: AMSP/sem.  | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
|-------------------------|-------|----------|----------|-------------------|
| 0                       | 3     | 29.78    | 0.357543 | X                 |
| 2                       | 3     | 29.84    | 0.357543 | X                 |
| 6                       | 3     | 29.92    | 0.357543 | X                 |
| 4                       | 3     | 29.92    | 0.357543 | X                 |
| 10                      | 3     | 29.96    | 0.357543 | X                 |
| 8                       | 3     | 29.96    | 0.357543 | X                 |
| 12                      | 3     | 29.99    | 0.357543 | X                 |
| 14                      | 3     | 30.0     | 0.357543 | X                 |
| 16                      | 3     | 30.01    | 0.357543 | X                 |
| Tratamiento: AMPSA/sem. | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
| 0                       | 3     | 25.04    | 0.257135 | X                 |
| 2                       | 3     | 25.55    | 0.257135 | XX                |
| 4                       | 3     | 25.67    | 0.257135 | XX                |
| 6                       | 3     | 25.72    | 0.257135 | XX                |
| 8                       | 3     | 25.98    | 0.257135 | X                 |
| 10                      | 3     | 26.02    | 0.257135 | X                 |
| 12                      | 3     | 26.04    | 0.257135 | X                 |
| 14                      | 3     | 26.04    | 0.257135 | X                 |
| 16                      | 3     | 26.05    | 0.257135 | X                 |
| Tratamiento: AMPCA/sem. | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
| 0                       | 3     | 26.84    | 0.462661 | X                 |
| 2                       | 3     | 27.03    | 0.462661 | X                 |
| 4                       | 3     | 27.23    | 0.462661 | X                 |
| 6                       | 3     | 27.25    | 0.462661 | X                 |



|                                    |              |                 |                 |                          |
|------------------------------------|--------------|-----------------|-----------------|--------------------------|
| 8                                  | 3            | 27.58           | 0.462661        | XX                       |
| 10                                 | 3            | 28.72           | 0.462661        | XX                       |
| 12                                 | 3            | 29.16           | 0.462661        | X                        |
| 14                                 | 3            | 29.24           | 0.462661        | X                        |
| 16                                 | 3            | 29.31           | 0.462661        | X                        |
| <b>Tratamiento:<br/>PESP/sem.</b>  | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
| 0                                  | 3            | 31.71           | 0.474946        | X                        |
| 2                                  | 3            | 31.85           | 0.474946        | X                        |
| 6                                  | 3            | 31.91           | 0.474946        | X                        |
| 4                                  | 3            | 31.92           | 0.474946        | X                        |
| 8                                  | 3            | 31.92           | 0.474946        | X                        |
| 10                                 | 3            | 31.95           | 0.474946        | X                        |
| 12                                 | 3            | 31.96           | 0.474946        | X                        |
| 14                                 | 3            | 31.96           | 0.474946        | X                        |
| 16                                 | 3            | 32.0            | 0.474946        | X                        |
| <b>Tratamiento:<br/>PEPSA/sem.</b> | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
| 0                                  | 3            | 25.0            | 0.480563        | X                        |
| 2                                  | 3            | 25.3            | 0.480563        | X                        |
| 10                                 | 3            | 25.34           | 0.480563        | X                        |
| 6                                  | 3            | 25.34           | 0.480563        | X                        |
| 4                                  | 3            | 25.35           | 0.480563        | X                        |
| 8                                  | 3            | 25.35           | 0.480563        | X                        |
| 12                                 | 3            | 25.36           | 0.480563        | X                        |
| 14                                 | 3            | 25.36           | 0.480563        | X                        |
| 16                                 | 3            | 25.36           | 0.480563        | X                        |
| <b>Tratamiento:<br/>PEPCA/sem.</b> | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
| 0                                  | 3            | 26.45           | 0.514875        | X                        |
| 2                                  | 3            | 27.03           | 0.514875        | X                        |
| 4                                  | 3            | 27.12           | 0.514875        | X                        |
| 6                                  | 3            | 27.16           | 0.514875        | X                        |
| 8                                  | 3            | 27.2            | 0.514875        | X                        |
| 10                                 | 3            | 27.22           | 0.514875        | X                        |
| 12                                 | 3            | 27.22           | 0.514875        | X                        |
| 14                                 | 3            | 27.23           | 0.514875        | X                        |
| 16                                 | 3            | 27.25           | 0.514875        | X                        |

**ANEXO 14: ANOVA Y LSD PARA LAS PRUEBAS REOLÓGICAS  
OSCILATORIAS DE LOS TRATAMIENTOS PARA EL EFECTO DEL  
ALMACENAMIENTO EN CONGELACIÓN**

**Tabla H.1: ANOVA para G'**

| Fuente              | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Efectos principales |                   |    |                |         |         |
| A:congelación       | 2.82838E7         | 1  | 2.82838E7      | 3230.12 | 0.0000  |
| B:pelado            | 1.34111E7         | 2  | 6.70554E6      | 765.80  | 0.0000  |
| C:variedad          | 220356.           | 4  | 55089.0        | 6.29    | 0.0003  |
| Interacciones       |                   |    |                |         |         |
| AB                  | 3.85317E6         | 2  | 1.92658E6      | 220.02  | 0.0000  |
| AC                  | 30486.3           | 4  | 7621.59        | 0.87    | 0.4870  |
| BC                  | 76806.6           | 8  | 9600.82        | 1.10    | 0.3784  |
| ABC                 | 183847.           | 8  | 22980.9        | 2.62    | 0.0156  |
| Restos              | 525376.           | 60 | 8756.27        |         |         |
| Total               | 4.6585E7          | 89 |                |         |         |

**Pruebas de Múltiple Rangos para G'**

| Tratamiento:<br>PESP/sem.  | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
|----------------------------|-------|----------|----------|-------------------|
| 0                          | 3     | 2145.1   | 45.6151  | X                 |
| 4                          | 3     | 2291.1   | 45.6151  | X                 |
| 8                          | 3     | 2301.1   | 45.6151  | X                 |
| 16                         | 3     | 2305.1   | 45.6151  | X                 |
| 12                         | 3     | 2305.1   | 45.6151  | X                 |
| Tratamiento:<br>PEPCA/sem. | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
| 8                          | 3     | 1170.8   | 77.9291  | X                 |
| 0                          | 3     | 1186.2   | 77.9291  | XX                |
| 4                          | 3     | 1269.6   | 77.9291  | X                 |
| 12                         | 3     | 1297.4   | 77.9291  | X                 |
| 16                         | 3     | 1363.3   | 77.9291  | X                 |
| Tratamiento:<br>PEPSA/sem. | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
| 0                          | 3     | 854.1    | 26.8079  | X                 |
| 4                          | 3     | 856.1    | 26.8079  | X                 |
| 8                          | 3     | 866.4    | 26.8079  | X                 |
| 12                         | 3     | 879.9    | 26.8079  | X                 |
| 16                         | 3     | 881.6    | 26.8079  | X                 |
| Tratamiento:<br>AMSP/sem.  | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
| 16                         | 3     | 2788.9   | 67.3963  | X                 |
| 12                         | 3     | 2792.4   | 67.3963  | X                 |
| 8                          | 3     | 2792.9   | 67.3963  | X                 |
| 4                          | 3     | 2817.7   | 67.3963  | X                 |
| 0                          | 3     | 2871.3   | 67.3963  | X                 |

| Tratamiento:<br>AMPCA/sem. | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
|----------------------------|-------|----------|----------|-------------------|
| 0                          | 3     | 2410.4   | 47.6824  | X                 |
| 4                          | 3     | 2577.3   | 47.6824  | X                 |
| 8                          | 3     | 2639.0   | 47.6824  | X                 |
| 12                         | 3     | 2657.3   | 47.6824  | X                 |
| 16                         | 3     | 2658.3   | 47.6824  | X                 |
| Tratamiento:<br>AMPSA/sem. | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
| 0                          | 3     | 2119.6   | 42.7121  | X                 |
| 4                          | 3     | 2356.8   | 42.7121  | X                 |
| 12                         | 3     | 2424.8   | 42.7121  | X                 |
| 16                         | 3     | 2424.8   | 42.7121  | X                 |
| 8                          | 3     | 2459.2   | 42.7121  | X                 |

**Tabla H.2: ANOVA para G''**

| Fuente              | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Efectos principales |                   |    |                |         |         |
| A:congelación       | 535645.           | 1  | 535645.        | 1039.42 | 0.0000  |
| B:pelado            | 187736.           | 2  | 93868.0        | 182.15  | 0.0000  |
| C:variedad          | 46065.0           | 4  | 11516.2        | 22.35   | 0.0000  |
| Interacciones       |                   |    |                |         |         |
| AB                  | 105033.           | 2  | 52516.4        | 101.91  | 0.0000  |
| AC                  | 4552.18           | 4  | 1138.05        | 2.21    | 0.0788  |
| BC                  | 6064.52           | 8  | 758.065        | 1.47    | 0.1870  |
| ABC                 | 4543.74           | 8  | 567.967        | 1.10    | 0.3747  |
| Restos              | 30919.9           | 60 | 515.331        |         |         |
| Total               | 920559.           | 89 |                |         |         |

**Pruebas de Múltiple Rangos para G''**

| Tratamiento:<br>PESP/sem.  | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
|----------------------------|-------|----------|----------|-------------------|
| 16                         | 3     | 334.6    | 7.97229  | X                 |
| 12                         | 3     | 335.0    | 7.97229  | X                 |
| 8                          | 3     | 336.0    | 7.97229  | X                 |
| 4                          | 3     | 346.3    | 7.97229  | X                 |
| 0                          | 3     | 373.0    | 7.97229  | X                 |
| Tratamiento:<br>PEPCA/sem. | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
| 16                         | 3     | 226.4    | 5.51168  | X                 |
| 12                         | 3     | 226.9    | 5.51168  | X                 |
| 8                          | 3     | 227.6    | 5.51168  | X                 |
| 4                          | 3     | 228.6    | 5.51168  | X                 |
| 0                          | 3     | 272.2    | 5.51168  | X                 |
| Tratamiento:<br>PEPSA/sem. | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
| 16                         | 3     | 144.5    | 11.3963  | X                 |
| 12                         | 3     | 147.8    | 11.3963  | X                 |
| 8                          | 3     | 155.1    | 11.3963  | XX                |

|                                    |              |                 |                 |                          |
|------------------------------------|--------------|-----------------|-----------------|--------------------------|
| 4                                  | 3            | 155.3           | 11.3963         | XX                       |
| 0                                  | 3            | 186.3           | 11.3963         | X                        |
| <b>Tratamiento:<br/>AMSP/sem.</b>  | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
| 16                                 | 3            | 402.2           | 12.8738         | X                        |
| 12                                 | 3            | 404.7           | 12.8738         | X                        |
| 8                                  | 3            | 420.7           | 12.8738         | X                        |
| 4                                  | 3            | 460.8           | 12.8738         | XX                       |
| 0                                  | 3            | 456.1           | 12.8738         | X                        |
| <b>Tratamiento:<br/>AMPCA/sem.</b> | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
| 16                                 | 3            | 344.0           | 18.6876         | X                        |
| 12                                 | 3            | 344.1           | 18.6876         | X                        |
| 8                                  | 3            | 344.2           | 18.6876         | X                        |
| 4                                  | 3            | 367.2           | 18.6876         | X                        |
| 0                                  | 3            | 442.9           | 18.6876         | X                        |
| <b>Tratamiento:<br/>AMPSA/sem.</b> | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
| 4                                  | 3            | 377.0           | 17.0847         | X                        |
| 8                                  | 3            | 390.6           | 17.0847         | X                        |
| 12                                 | 3            | 390.7           | 17.0847         | X                        |
| 16                                 | 3            | 390.7           | 17.0847         | X                        |
| 0                                  | 3            | 474.1           | 17.0847         | X                        |

**Tabla H.3: ANOVA para n'**

| Fuente              | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Efectos principales |                   |    |                |         |         |
| A:congelación       | 0.00225           | 1  | 0.00225        | 7.76    | 0.0071  |
| B:pelado            | 0.00312           | 2  | 0.00156        | 5.38    | 0.0071  |
| C:variedad          | 0.00406           | 4  | 0.001015       | 3.50    | 0.0124  |
| Interacciones       |                   |    |                |         |         |
| AB                  | 0.00312           | 2  | 0.00156        | 5.38    | 0.0071  |
| AC                  | 0.0007            | 4  | 0.000175       | 0.60    | 0.6616  |
| BC                  | 0.00068           | 8  | 0.000085       | 0.29    | 0.9657  |
| ABC                 | 0.00068           | 8  | 0.000085       | 0.29    | 0.9657  |
| Restos              | 0.0174            | 60 | 0.00029        |         |         |
| Total               | 0.03201           | 89 |                |         |         |

**Pruebas de Múltiple Rangos para n'**

| Tratamiento:<br>PESP/sem.          | Casos        | Media LS        | Sigma LS        | Grupos Homogéneos        |
|------------------------------------|--------------|-----------------|-----------------|--------------------------|
| 4                                  | 3            | 0.13            | 0.00365148      | X                        |
| 8                                  | 3            | 0.13            | 0.00365148      | X                        |
| 12                                 | 3            | 0.13            | 0.00365148      | X                        |
| 16                                 | 3            | 0.13            | 0.00365148      | X                        |
| 0                                  | 3            | 0.13            | 0.00365148      | X                        |
| <b>Tratamiento:<br/>PEPCA/sem.</b> | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
| 4                                  | 3            | 0.14            | 0.0146059       | X                        |

|                                |              |                 |                 |                          |
|--------------------------------|--------------|-----------------|-----------------|--------------------------|
| 8                              | 3            | 0.14            | 0.0146059       | X                        |
| 12                             | 3            | 0.14            | 0.0146059       | X                        |
| 16                             | 3            | 0.14            | 0.0146059       | X                        |
| 0                              | 3            | 0.16            | 0.0146059       | X                        |
| <b>Tratamiento: PEPSA/sem.</b> | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
| 4                              | 3            | 0.13            | 0.00930949      | X                        |
| 8                              | 3            | 0.13            | 0.00930949      | X                        |
| 12                             | 3            | 0.13            | 0.00930949      | X                        |
| 16                             | 3            | 0.13            | 0.00930949      | X                        |
| 0                              | 3            | 0.15            | 0.00930949      | X                        |
| <b>Tratamiento: AMSP/sem.</b>  | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
| 16                             | 3            | 0.13            | 0.00930949      | X                        |
| 8                              | 3            | 0.13            | 0.00930949      | X                        |
| 12                             | 3            | 0.13            | 0.00930949      | X                        |
| 4                              | 3            | 0.14            | 0.00930949      | X                        |
| 0                              | 3            | 0.15            | 0.00930949      | X                        |
| <b>Tratamiento: AMPCA/sem.</b> | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
| 16                             | 3            | 0.12            | 0.00894427      | X                        |
| 12                             | 3            | 0.12            | 0.00894427      | X                        |
| 8                              | 3            | 0.13            | 0.00894427      | X                        |
| 4                              | 3            | 0.14            | 0.00894427      | X                        |
| 0                              | 3            | 0.14            | 0.00894427      | X                        |
| <b>Tratamiento: AMPSA/sem.</b> | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
| 12                             | 3            | 0.1             | 0.01            | X                        |
| 16                             | 3            | 0.1             | 0.01            | X                        |
| 4                              | 3            | 0.11            | 0.01            | X                        |
| 8                              | 3            | 0.12            | 0.01            | X                        |
| 0                              | 3            | 0.13            | 0.01            | X                        |

**Tabla H.4: ANOVA para k'**

| <b>Fuente</b>       | <b>Suma de Cuadrados</b> | <b>Gl</b> | <b>Cuadrado Medio</b> | <b>Razón-F</b> | <b>Valor-P</b> |
|---------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| Efectos principales |                          |           |                       |                |                |
| A:congelación       | 2.5248E7                 | 1         | 2.5248E7              | 4004.71        | 0.0000         |
| B:pelado            | 1.07569E7                | 2         | 5.37846E6             | 853.10         | 0.0000         |
| C:variedad          | 496321.                  | 4         | 124080.               | 19.68          | 0.0000         |
| Interacciones       |                          |           |                       |                |                |
| AB                  | 4.02379E6                | 2         | 2.01189E6             | 319.12         | 0.0000         |
| AC                  | 110457.                  | 4         | 27614.3               | 4.38           | 0.0036         |
| BC                  | 31958.7                  | 8         | 3994.83               | 0.63           | 0.7463         |
| ABC                 | 108793.                  | 8         | 13599.1               | 2.16           | 0.0438         |
| Restos              | 378275.                  | 60        | 6304.58               |                |                |
| Total               | 4.11546E7                | 89        |                       |                |                |

## Pruebas de Múltiple Rangos para k'

| <b>Tratamiento:</b><br><b>PESP/sem.</b>  | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
|--|--------------|-----------------|-----------------|--------------------------|
| 0  | 3            | 2051.9          | 56.4867         | X                        |
| 4  | 3            | 2178.2          | 56.4867         | X                        |
| 8  | 3            | 2191.4          | 56.4867         | X                        |
| 12                                       | 3            | 2194.1          | 56.4867         | X                        |
| 16                                       | 3            | 2195.6          | 56.4867         | X                        |
| <b>Tratamiento:</b><br><b>PEPCA/sem.</b> | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
| 0  | 3            | 1105.2          | 30.5184         | X                        |
| 4  | 3            | 1209.6          | 30.5184         | X                        |
| 8  | 3            | 1232.6          | 30.5184         | X                        |
| 12                                       | 3            | 1237.2          | 30.5184         | X                        |
| 16                                       | 3            | 1237.47         | 30.5184         | X                        |
| <b>Tratamiento:</b><br><b>PEPSA/sem.</b> | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
| 0  | 3            | 819.1           | 29.4209         | X                        |
| 4  | 3            | 841.6           | 29.4209         | X                        |
| 8  | 3            | 848.3           | 29.4209         | X                        |
| 12                                       | 3            | 849.7           | 29.4209         | X                        |
| 16                                       | 3            | 849.9           | 29.4209         | X                        |
| <b>Tratamiento:</b><br><b>AMSP/sem.</b>  | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
| 0  | 3            | 2563.5          | 60.3739         | X                        |
| 4  | 3            | 2640.4          | 60.3739         | X                        |
| 8  | 3            | 2663.8          | 60.3739         | X                        |
| 12                                       | 3            | 2668.5          | 60.3739         | X                        |
| 16                                       | 3            | 2669.4          | 60.3739         | X                        |
| <b>Tratamiento:</b><br><b>AMPCA/sem.</b> | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
| 0  | 3            | 2189.9          | 34.2939         | X                        |
| 4  | 3            | 2445.7          | 34.2939         | X                        |
| 12                                       | 3            | 2502.5          | 34.2939         | X                        |
| 8  | 3            | 2503.1          | 34.2939         | X                        |
| 16                                       | 3            | 2504.4          | 34.2939         | X                        |
| <b>Tratamiento:</b><br><b>AMPSA/sem.</b> | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
| 0  | 3            | 1987.6          | 52.9186         | X                        |
| 4  | 3            | 2349.4          | 52.9186         | X                        |
| 8  | 3            | 2406.1          | 52.9186         | X                        |
| 12                                       | 3            | 2417.5          | 52.9186         | X                        |
| 16                                       | 3            | 2419.7          | 52.9186         | X                        |

**Tabla H.5: ANOVA para n''**

| Fuente              | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Efectos principales |                   |    |                |         |         |
| A:congelación       | 0.00289           | 1  | 0.00289        | 4.95    | 0.0298  |
| B:pelado            | 0.00854           | 2  | 0.00427        | 7.32    | 0.0014  |
| C:variedad          | 0.0238            | 4  | 0.00595        | 10.20   | 0.0000  |
| Interacciones       |                   |    |                |         |         |
| AB                  | 0.00806           | 2  | 0.00403        | 6.91    | 0.0020  |
| AC                  | 0.00536           | 4  | 0.00134        | 2.30    | 0.0694  |
| BC                  | 0.00356           | 8  | 0.000445       | 0.76    | 0.6364  |
| ABC                 | 0.00064           | 8  | 0.00008        | 0.14    | 0.9972  |
| Restos              | 0.035             | 60 | 0.000583333    |         |         |
| Total               | 0.08785           | 89 |                |         |         |

**Pruebas de Múltiple Rangos para n''**

| Tratamiento: PESP/sem.  | Casos | Media LS | Sigma LS  | Grupos Homogéneos |
|-------------------------|-------|----------|-----------|-------------------|
| 4                       | 3     | 0.2      | 0.0057735 | X                 |
| 8                       | 3     | 0.2      | 0.0057735 | X                 |
| 12                      | 3     | 0.2      | 0.0057735 | X                 |
| 16                      | 3     | 0.2      | 0.0057735 | X                 |
| 0                       | 3     | 0.2      | 0.0057735 | X                 |
| Tratamiento: PEPCA/sem. | Casos | Media LS | Sigma LS  | Grupos Homogéneos |
| 0                       | 3     | 0.19     | 0.0143759 | X                 |
| 4                       | 3     | 0.22     | 0.0143759 | X                 |
| 16                      | 3     | 0.23     | 0.0143759 | X                 |
| 8                       | 3     | 0.23     | 0.0143759 | X                 |
| 12                      | 3     | 0.23     | 0.0143759 | X                 |
| Tratamiento: PEPSA/sem. | Casos | Media LS | Sigma LS  | Grupos Homogéneos |
| 0                       | 3     | 0.2      | 0.0121106 | X                 |
| 4                       | 3     | 0.22     | 0.0121106 | X                 |
| 8                       | 3     | 0.23     | 0.0121106 | X                 |
| 16                      | 3     | 0.23     | 0.0121106 | X                 |
| 12                      | 3     | 0.23     | 0.0121106 | X                 |
| Tratamiento: AMSP/sem.  | Casos | Media LS | Sigma LS  | Grupos Homogéneos |
| 0                       | 3     | 0.17     | 0.0131656 | X                 |
| 4                       | 3     | 0.19     | 0.0131656 | XX                |
| 12                      | 3     | 0.21     | 0.0131656 | XX                |
| 8                       | 3     | 0.21     | 0.0131656 | XX                |
| 16                      | 3     | 0.22     | 0.0131656 | X                 |
| Tratamiento: AMPCA/sem. | Casos | Media LS | Sigma LS  | Grupos Homogéneos |
| 0                       | 3     | 0.17     | 0.0163299 | X                 |
| 4                       | 3     | 0.2      | 0.0163299 | XX                |
| 8                       | 3     | 0.25     | 0.0163299 | X                 |
| 16                      | 3     | 0.25     | 0.0163299 | X                 |
| 12                      | 3     | 0.25     | 0.0163299 | X                 |

| Tratamiento:<br>AMPSA/sem. | Casos | Media LS | Sigma LS  | Grupos Homogéneos |
|----------------------------|-------|----------|-----------|-------------------|
| 0                          | 3     | 0.15     | 0.0184391 | X                 |
| 4                          | 3     | 0.17     | 0.0184391 | X                 |
| 16                         | 3     | 0.2      | 0.0184391 | X                 |
| 8                          | 3     | 0.2      | 0.0184391 | X                 |
| 12                         | 3     | 0.2      | 0.0184391 | X                 |

**Tabla H.6: ANOVA para k''**

| Fuente              | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Efectos principales |                   |    |                |         |         |
| A:congelación       | 393163.           | 1  | 393163.        | 751.05  | 0.0000  |
| B:pelado            | 266544.           | 2  | 133272.        | 254.59  | 0.0000  |
| C:variedad          | 14464.0           | 4  | 3616.0         | 6.91    | 0.0001  |
| Interacciones       |                   |    |                |         |         |
| AB                  | 39719.7           | 2  | 19859.8        | 37.94   | 0.0000  |
| AC                  | 1061.29           | 4  | 265.324        | 0.51    | 0.7308  |
| BC                  | 1840.44           | 8  | 230.055        | 0.44    | 0.8925  |
| ABC                 | 1604.0            | 8  | 200.5          | 0.38    | 0.9256  |
| Restos              | 31408.8           | 60 | 523.481        |         |         |
| Total               | 749805.           | 89 |                |         |         |

**Pruebas de Múltiple Rangos para k''**

| Tratamiento:<br>PESP/sem.  | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
|----------------------------|-------|----------|----------|-------------------|
| 16                         | 3     | 328.0    | 15.4237  | X                 |
| 12                         | 3     | 328.3    | 15.4237  | X                 |
| 8                          | 3     | 329.3    | 15.4237  | X                 |
| 4                          | 3     | 334.4    | 15.4237  | X                 |
| 0                          | 3     | 347.2    | 15.4237  | X                 |
| Tratamiento:<br>PEPCA/sem. | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
| 16                         | 3     | 216.8    | 8.13601  | X                 |
| 12                         | 3     | 216.9    | 8.13601  | X                 |
| 8                          | 3     | 217.2    | 8.13601  | X                 |
| 4                          | 3     | 218.7    | 8.13601  | X                 |
| 0                          | 3     | 248.8    | 8.13601  | X                 |
| Tratamiento:<br>PEPSA/sem. | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
| 16                         | 3     | 145.7    | 6.95759  | X                 |
| 12                         | 3     | 145.8    | 6.95759  | X                 |
| 8                          | 3     | 145.9    | 6.95759  | X                 |
| 4                          | 3     | 146.7    | 6.95759  | X                 |
| 0                          | 3     | 166.5    | 6.95759  | X                 |
| Tratamiento:<br>AMSP/sem.  | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
| 16                         | 3     | 394.0    | 17.2414  | X                 |
| 12                         | 3     | 395.1    | 17.2414  | X                 |
| 8                          | 3     | 398.9    | 17.2414  | X                 |



|                                    |              |                 |                 |                          |
|------------------------------------|--------------|-----------------|-----------------|--------------------------|
| 4                                  | 3            | 417.833         | 17.2414         | XX                       |
| 0                                  | 3            | 460.8           | 17.2414         | X                        |
| <b>Tratamiento:<br/>AMPCA/sem.</b> | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
| 16                                 | 3            | 348.5           | 12.0876         | X                        |
| 12                                 | 3            | 348.5           | 12.0876         | X                        |
| 8                                  | 3            | 348.7           | 12.0876         | X                        |
| 4                                  | 3            | 349.3           | 12.0876         | X                        |
| 0                                  | 3            | 393.0           | 12.0876         | X                        |
| <b>Tratamiento:<br/>AMPSA/sem.</b> | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
| 16                                 | 3            | 329.7           | 15.8458         | X                        |
| 12                                 | 3            | 329.7           | 15.8458         | X                        |
| 8                                  | 3            | 329.8           | 15.8458         | X                        |
| 4                                  | 3            | 330.4           | 15.8458         | X                        |
| 0                                  | 3            | 344.8           | 15.8458         | X                        |

**Tabla H.6: ANOVA para  $\delta^\circ$**

| Fuente              | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| Efectos principales |                   |    |                |         |         |
| A:congelación       | 22.7004           | 1  | 22.7004        | 33.66   | 0.0000  |
| B:pelado            | 14.9202           | 2  | 7.46011        | 11.06   | 0.0001  |
| C:variedad          | 61.5884           | 4  | 15.3971        | 22.83   | 0.0000  |
| Interacciones       |                   |    |                |         |         |
| AB                  | 30.9669           | 2  | 15.4834        | 22.96   | 0.0000  |
| AC                  | 0.521778          | 4  | 0.130444       | 0.19    | 0.9409  |
| BC                  | 5.28089           | 8  | 0.660111       | 0.98    | 0.4614  |
| ABC                 | 2.74756           | 8  | 0.343444       | 0.51    | 0.8448  |
| Restos              | 40.4667           | 60 | 0.674444       |         |         |
| Total               | 179.193           | 89 |                |         |         |

**Pruebas de Múltiple Rangos para  $\delta^\circ$**

|                                    |              |                 |                 |                          |
|------------------------------------|--------------|-----------------|-----------------|--------------------------|
| <b>Tratamiento:<br/>PESP/sem.</b>  | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
| 16                                 | 3            | 8.3             | 0.193218        | X                        |
| 8                                  | 3            | 8.3             | 0.193218        | X                        |
| 12                                 | 3            | 8.3             | 0.193218        | X                        |
| 4                                  | 3            | 8.6             | 0.193218        | X                        |
| 0                                  | 3            | 9.8             | 0.193218        | X                        |
| <b>Tratamiento:<br/>PEPCA/sem.</b> | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
| 16                                 | 3            | 10.0            | 0.246306        | X                        |
| 8                                  | 3            | 10.0            | 0.246306        | X                        |
| 12                                 | 3            | 10.0            | 0.246306        | X                        |
| 4                                  | 3            | 10.2            | 0.246306        | X                        |
| 0                                  | 3            | 12.6            | 0.246306        | X                        |
| <b>Tratamiento:<br/>PEPSA/sem.</b> | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
| 16                                 | 3            | 9.4             | 0.79666         | X                        |

|                                    |              |                 |                 |                          |
|------------------------------------|--------------|-----------------|-----------------|--------------------------|
| 8                                  | 3            | 10.1            | 0.79666         | XX                       |
| 4                                  | 3            | 10.2            | 0.79666         | XX                       |
| 12                                 | 3            | 10.5            | 0.79666         | XX                       |
| 0                                  | 3            | 12.1            | 0.79666         | X                        |
| <b>Tratamiento:<br/>AMSP/sem.</b>  | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
| 16                                 | 3            | 8.3             | 0.30037         | X                        |
| 12                                 | 3            | 8.4             | 0.30037         | XX                       |
| 8                                  | 3            | 9.03333         | 0.30037         | XX                       |
| 4                                  | 3            | 9.3             | 0.30037         | X                        |
| 0                                  | 3            | 10.7            | 0.30037         | X                        |
| <b>Tratamiento:<br/>AMPCA/sem.</b> | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
| 16                                 | 3            | 7.4             | 0.533542        | X                        |
| 12                                 | 3            | 7.4             | 0.533542        | X                        |
| 8                                  | 3            | 7.5             | 0.533542        | X                        |
| 4                                  | 3            | 8.0             | 0.533542        | X                        |
| 0                                  | 3            | 10.6            | 0.533542        | X                        |
| <b>Tratamiento:<br/>AMPSA/sem.</b> | <b>Casos</b> | <b>Media LS</b> | <b>Sigma LS</b> | <b>Grupos Homogéneos</b> |
| 4                                  | 3            | 9.1             | 0.491257        | X                        |
| 8                                  | 3            | 9.1             | 0.491257        | X                        |
| 12                                 | 3            | 9.1             | 0.491257        | X                        |
| 16                                 | 3            | 9.1             | 0.491257        | X                        |
| 0                                  | 3            | 10.3            | 0.491257        | X                        |