



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**PROPIEDADES DE CONGELACIÓN, CALIDAD FÍSICOQUÍMICA
Y MICROESTRUCTURA EN TRES VARIEDADES DE PAPA
(*Solanum tuberosum*) CON POTENCIAL USO EN LA
PRODUCCIÓN DE TUNTA**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. ARISACA APAZA JENNIFER RAQUEL

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

PUNO – PERÚ

2024



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

PROPIEDADES DE CONGELACIÓN, CALIDAD FÍSICOQUÍMICA Y MICROESTRUCTURA EN TRES VARIEDADES DE PAPA (*Solanum tuberosum*) CON POTENCIAL USO EN LA PRODUCCIÓN DE TUNTA

AUTOR

JENNIFER RAQUEL ARISACA APAZA

RECuento DE PALABRAS

33084 Words

RECuento DE CARACTERES

158088 Characters

RECuento DE PÁGINAS

138 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

5.0MB

FECHA DE ENTREGA

Jul 18, 2024 11:16 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jul 18, 2024 11:18 AM GMT-5

● 10% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 10% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 3% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)



 Dr. Alejandro Coloma Paxi
INGENIERO AGROINDUSTRIAL
CIP: 68697



Dr. Ulises Alvarado Mamani
Sub. Director de Investigación - EPIAI - FCA

Resumen



DEDICATORIA

A mi papi, Willy Arisaca, por sostener mi mano cuando me perdí, a ti viejito por tus sabias palabras, por convencerme de quedarme en este hermoso viaje hacia la vida.

Al obsequio más grande y hermoso que Dios me supo entregar, a mi hermanita Rossana. Por ella y para ella todo mi esfuerzo y dedicación.

A mi abuelito Juan Arisaca por motivarme a seguir luchando por seguir con vida, besitos al cielo mi forasterito.

A mí por tanta paciencia, por seguir luchando contra mi depresión y mi ansiedad. Volveré a leer mi tesis en el año 2025, con una Raquel más feliz, más exitosa y sobre todo con una buena salud mental; veré al pasado con mucha felicidad, por haberme enseñado tantas cosas, entre ellas ser valiente y resiliente.

.

Jennifer Raquel Arisaca Apaza



AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme acompañado y permitido lograr esta meta importante en mi vida, por haberme guiado, por darme la salud necesaria para seguir con vida. Sin duda ha sido mucho sacrificio, esfuerzo y lágrimas.

A mi Madre Rosa, por darme la vida, gracias por tenerme a tus cortos 19 años, renunciaste a tantos sueños por dar vida a los míos.

A mis hermanos Daniel y Cristian, por sus palabras de aliento en mis noches llenas de ansiedad y depresión.

A mi primera casa de estudios la Universidad Nacional del Altiplano, a la facultad de Ciencias Agrarias y a cada uno de los docentes que forman parte de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial por haber contribuido y aportado con sus valiosas enseñanzas; por permitirme ser una profesional en lo que tanto me apasiona.

A mi director de tesis Dr. Alejandro Coloma Paxi por su apoyo incondicional, por su disposición de tiempo y asesoramiento en la ejecución del presente trabajo de investigación, con su acertado direccionamiento.

A los distinguidos miembros del jurado Dr. Wenceslao Teddy Medina Espinoza, Dra. Marienela Calsin Cutimbo y a la D. Sc. Carmen Gisela Mindani Cáceres; por su apoyo, sus valiosos comentarios y sus acertadas sugerencias en la corrección del presente trabajo de investigación.

A mis amigas Aydee Valero y Betty Acero, por acompañarme a reconocer mis errores y gestionar mis emociones, por las aventuras que nos tiene preparada la vida.

Jennifer Raquel Arisaca Apaza



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	18
ABSTRACT.....	19
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. OBJETIVO GENERAL	22
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1. ANTECEDENTES	23
2.2. MARCO TEÓRICO	27
2.2.1. La papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	27
2.2.1.1. Generalidades de la papa.....	27
2.2.1.2. Origen de la papa	27
2.2.1.3. Descripción estructura general y taxonomía de la papa.....	28
2.2.1.3.1. Estructura general de la papa	28



2.2.1.3.2. Taxonomía de la papa	30
2.2.1.4. Composición química de la papa	31
2.2.1.5. Producción de la papa	32
2.2.1.6. Uso y aplicaciones de la papa	33
2.2.2. La tunta	34
2.2.2.1. Generalidades de la tunta	34
2.2.2.2. Materia prima para la elaboración de la tunta	36
2.2.2.3. Condiciones geográficas para la producción de la tunta	36
2.2.2.4. Proceso de producción de tunta.....	38
2.2.3. Proceso digital de imágenes: Clasificación de tamaño en papas	39
2.2.3.1. Método Canny	40
2.2.4. Proceso de congelación.....	42
2.2.4.1. Curva de congelación.....	42
2.2.4.2. Cristalización de agua	43
2.2.4.2.1. Nucleación.....	43
2.2.4.2.2. Propagación de cristales de hielo	44
2.2.4.2.3. Maduración o recristalización	44
2.2.4.3. Velocidad de congelación	45
2.2.4.4.1. Congelación lenta.....	45
2.2.4.4.2. Congelación rápida.....	46
2.2.4.4. Tiempo de congelación	47
2.2.4.5. Métodos del proceso de congelación	48
2.2.4.5.1. Congelación por aire forzado o comprimido (por convección)	48
2.2.4.5.2 Congelación por contacto o placas (por conducción)	49



2.2.4.5.3. Congelación Criogénico (convección/conducción)	49
2.2.5. Propiedades fisicoquímicas en los alimentos.....	42
2.2.5.1. Textura	50
2.2.5.2. Color (L^* , a^* y b^*).....	51
2.2.6. Análisis de microestructura en la papa	51

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN	52
3.2. MATERIA PRIMA.....	52
3.3. MATERIALES Y EQUIPOS.....	53
3.3.1. Materiales.....	53
3.3.2. Equipos.....	54
3.3.3. Instrumentos de medición	54
3.3.4. Software	54
3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	55
3.4.1. Metodología General.....	56
3.4.1.1. Metodología para la Clasificación y Selección.....	57
3.4.1.1.1. Aplicación del Método Canny	58
3.4.1.1.2. Determinación de Volumen	59
3.4.1.2. Metodología para la Congelación	59
3.5. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN	60
3.5.1. Determinación de las propiedades de congelación	60
3.5.1.1. Determinación del tiempo y velocidad de congelación	60
3.5.1.2. Determinación de la temperatura de inicio de congelación	61
3.5.2. Determinación de las propiedades fisicoquímicas	61



3.5.2.1. Determinación de la textura	61
3.5.2.2. Determinación de Color	61
3.5.3. Sistema de adquisición de micrografías de la microestructura de la papa congelada.....	62
3.6. UNIDADES DE ANÁLISIS Y OBSERVACIONES.....	63
3.6.1. Factores de estudio.....	63
3.6.2. Variables de respuesta.....	63
3.7. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	64

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DETERMINACIÓN EL TIEMPO, VELOCIDAD Y TEMPERATURA DE INICIO DE CONGELACIÓN GRAFICANDO LA CURVA DE CONGELACIÓN EN TRES VARIEDADES DE PAPA (YANA IMILLA, PARKO CHASCA Y CCOMPIS), SOMETIDAS A TRES TEMPERATURAS DE CONGELACIÓN (-5°C, -10°C Y -15°C).....	66
4.1.1. Evaluación del área: Método Canny	66
4.1.2. Evaluación de las propiedades de congelación.....	68
4.1.2.1. Evaluación de la curva de congelación	68
4.1.2.2. Evaluación del tiempo, velocidad y temperatura de inicio de congelación	73
4.1.2.2.1. Evaluación del tiempo de congelación.....	73
4.1.2.2.2. Evaluación de la velocidad de congelación	76
4.1.2.2.3. Evaluación de la temperatura de inicio de congelación	79
4.2. DETERMINACIÓN DE LA TEXTURA, COLOR Y MICROESTRUCTURA (PARED CELULAR) EN TRES VARIEDADES	



DE PAPA (YANA IMILLA, PARKO CHASCA Y CCOMPIS) DESCONGELADAS, SOMETIDAS A TRES TEMPERATURAS DE CONGELACIÓN (-5°C, -10°C Y -15°C).....	81
4.2.1. Evaluación textura.....	81
4.2.2. Evaluación de color en a*, b*, L, YI y ΔE.....	84
4.2.2.1. Evaluación de color a*	86
4.2.2.2. Evaluación de color b*	88
4.2.2.3. Evaluación de color L	90
4.2.2.4. Evaluación de ΔE	92
4.2.2.5. Evaluación del Índice de Amarillez (YI)	94
4.2.3. Evaluación de la microestructura	96
V. CONCLUSIONES.....	101
VI. RECOMENDACIONES	102
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103
ANEXO	114

Área: Ingeniería y tecnología.

Tema: Propiedades físicas y estructurales.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 22 de julio del 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Clasificación Taxonómica de la papa.	30
Tabla 2 Composición química de la papa.	31
Tabla 3 Composición nutricional de la Tunta.....	35
Tabla 4 Principales variedades de papa destinadas a la producción de la tunta.	36
Tabla 5 Distribuciones de tratamientos y repeticiones.	65
Tabla 6 Área superficial: Método Canny.....	66
Tabla 7 Promedio de los parámetros del proceso de congelación.	73
Tabla 8 Promedio del parámetro de textura: Firmeza.....	82
Tabla 9 Promedios de los parámetros de color a^* , b^* , L, YI y ΔE	85
Tabla 10 Control de medidas	122
Tabla 11 Control de volumen.....	123
Tabla 12 Control de peso.	123
Tabla 13 Parámetros del proceso de congelación.	124
Tabla 14 Parámetros de textura: Firmeza.	125
Tabla 15 Parámetros de color a^* , b^* , L, YI (Índice de Amarillez) y ΔE (Variación de color). Parámetros de color a^* , b^* , L, YI (Índice de Amarillez) y ΔE (Variación de color).	126
Tabla 16 Análisis de Varianza (ANOVA), para el tiempo de congelación.	127
Tabla 17 Análisis de comparación Duncan, para la variación en el tiempo de congelación, según su variedad.....	127
Tabla 18 Análisis de comparación Duncan, para la variación en el tiempo de congelación, según la temperatura.....	127



Tabla 19	Análisis de Varianza (ANOVA), para la velocidad de congelación.....	128
Tabla 20	Análisis de comparación Duncan, para la variación de la velocidad de congelación, según su variedad.....	128
Tabla 21	Análisis de comparación Duncan, para la variación de la velocidad de congelación, según la temperatura.	128
Tabla 22	Análisis de Varianza (ANOVA), para la temperatura de inicio de congelación -10°C y -15°C.	129
Tabla 23	Análisis de comparación Duncan para la variación del parámetro temperatura de inicio de congelación, según su variedad.	129
Tabla 24	Análisis de comparación Duncan para la variación del parámetro temperatura de inicio de congelación, según la temperatura.	129
Tabla 25	Análisis de Varianza (ANOVA), para el parámetro firmeza.	130
Tabla 26	Análisis de comparación Duncan para la variación del parámetro firmeza, según su variedad.	130
Tabla 27	Análisis de comparación Duncan para la variación del parámetro firmeza, según la temperatura.	130
Tabla 28	Análisis de Varianza (ANOVA), para parámetro de color a*.	131
Tabla 29	Análisis de comparación múltiple Duncan, para la variación del parámetro de color a*, según variedad.	131
Tabla 30	Análisis de comparación múltiple Duncan, para la variación del parámetro de color a*, según la temperatura.	131
Tabla 31	Análisis de Varianza (ANOVA), para parámetro de color b*.	132
Tabla 32	Análisis de comparación Duncan, para la variación del parámetro de color b*, según su temperatura.....	132
Tabla 33	Análisis de Varianza (ANOVA), para parámetro de color L.....	132



Tabla 34	Análisis de comparación Duncan, para la variación del parámetro de color L según su variedad.	133
Tabla 35	Análisis de Varianza (ANOVA), para parámetro de color ΔE	133
Tabla 36	Análisis de comparación Duncan para la variación del parámetro de color ΔE , según su variedad.	133
Tabla 37	Análisis de comparación Duncan para la variación del parámetro de color ΔE , según la temperatura.	134
Tabla 38	Análisis de Varianza (ANOVA), para parámetro de color YI.	134
Tabla 39	Análisis de comparación Duncan para la variación del parámetro de color YI. Según su variedad.	134
Tabla 40	Análisis de comparación Duncan para la variación del parámetro de color YI. según la temperatura.	135



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Estructura de la planta del tubérculo de la papa.	28
Figura 2 Estructura de la papa.	29
Figura 3 Estructura de la sección transversal de la papa.	30
Figura 4 Producción de papa en el Perú desde 1997 al 2016.....	32
Figura 5 Principales departamentos productores de Papa, 2016.....	33
Figura 6 Distribución porcentual de la producción de tunta en el Perú.....	38
Figura 7 Fases del proceso de elaboración de la tunta en el altiplano peruano.	39
Figura 8 Representación de una imagen digital.....	40
Figura 9 Ejemplo de Detección de bordes mediante el método Canny.....	41
Figura 10 Visión esquemática de los procesos de congelación de una sustancia pura (agua) y de un alimento a dos velocidades de congelación (rápida y lenta).	43
Figura 11 Migración de agua intracelular en congelación lenta.....	46
Figura 12 Migración de agua intracelular en congelación rápida.....	47
Figura 13 Flujograma de Metodología General.....	55
Figura 14 Sistema de adquisición de imágenes.....	59
Figura 15 Curva de tiempo - temperatura durante el proceso de congelación Yana Imilla.....	70
Figura 16 Curva de tiempo - temperatura durante el proceso de congelación Parko Chasca.....	71
Figura 17 Curva de tiempo - temperatura durante el proceso de congelación Ccompis.	72



Figura 22	Micrografía del peridermis y médula de la papa.	96
Figura 23	Micrografías de papa entera cruda congelada (c) Yana Imilla, (d) Parko Chasca y (e) Ccompis a -5 °C.....	97
Figura 24	Micrografías de papa entera cruda congelada (f) Yana Imilla, (g) Parko Chasca y (h) Ccompis a -10 °C.....	98
Figura 25	Micrografías de papa entera cruda congelada (i) Yana Imilla, (j) Parko Chasca y (k) Ccompis a -15 °C.....	99
Figura 26	Selección y clasificación de la papa variedad Ccompis.	135
Figura 27	Selección y clasificación de la papa variedad Yana Imilla.	135
Figura 28	Selección y clasificación de la papa variedad Parko Chasca.	136
Figura 29	Selección y clasificación, toma de imágenes.	136



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1: Constancia de certificación de semillas Yana Imilla.	114
ANEXO 2: Constancia de certificación de semillas Ccompis.	115
ANEXO 3: Registro de tiempo - temperatura de la congelación de los tubérculos de papa (Yana Imilla, Parko Chasca y Ccompis) a - 5°C.	116
ANEXO 4: Registro de tiempo - temperatura del congelado de tubérculos de papa (Yana Imilla, Parko Chasca y Ccompis) a - 10°C.	118
ANEXO 5: Registro de tiempo - temperatura del congelado de tubérculos de papa (Yana Imilla, Parko Chasca y Ccompis) a - 15°C.	120
ANEXO 6: Resultados recopilados para la clasificación y selección de los tubérculos de papa.	122
ANEXO 7: Resultados del proceso de congelación en las propiedades de congelación.	124
ANEXO 8: Resultados del proceso de congelación en las propiedades fisicoquímicas.	125
ANEXO 9: Resultados de análisis de varianza (ANOVA) y análisis de comparación Duncan para el tiempo de congelación.	127
ANEXO 10: Resultados de análisis de varianza (ANOVA) y análisis de comparación Duncan para la velocidad de congelación.	128
ANEXO 11: Resultados de análisis de varianza (ANOVA) y análisis de comparación Duncan para la temperatura de inicio de congelación.	129
ANEXO 12: Resultados de análisis de varianza (ANOVA) y análisis de comparación Duncan para el parámetro de firmeza.	130



ANEXO 13: Resultados de análisis de varianza (ANOVA) y análisis de comparación Duncan para el parámetro de color a*.....	131
ANEXO 14: Resultados de análisis de varianza (ANOVA) y análisis de comparación Duncan para el parámetro de color b*.....	132
ANEXO 15: Resultados de análisis de varianza (ANOVA) y análisis de comparación Duncan para el parámetro de color L.	132
ANEXO 16: Resultados de análisis de varianza (ANOVA) y análisis de comparación Duncan para el parámetro de color ΔE	133
ANEXO 17: Resultados de análisis de varianza (ANOVA) y análisis de comparación Duncan para el parámetro de color YI.....	134
ANEXO 18: Álbum de fotos del proceso de selección y clasificación de la papa (Solanum tuberosum).	135
ANEXO 19: Declaración jurada de autenticidad de tesis.	137
ANEXO 20: Ficha de autorización para el depósito de tesis en el repositorio institucional.	138



ACRÓNIMOS

CIE L * a * b:	Commission Internationale de l'Eclairage.
CIP:	Centro Internacional de la Papa.
INIA:	Instituto Nacional de Investigación Agraria.
FAOSTAT:	Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistic Divisions.
INEI:	Instituto Nacional de Estadística e Informática.
NTP:	Norma Técnica Peruana.
MINAGRI:	Ministerio de desarrollo Agrario y Riego.
IIR:	Infinite Impulse Response.
BPPAT:	Buenas Prácticas de Procesamiento de la Tunta.
TA-XT2:	Texture Analyzaer - Modelo.
LAB:	Espacio color L*, a* y b*.
HSV:	Hue, Saturation, Value.
NIRS:	Near Infrared Spectroscopy.
SPDA:	Sociedad Peruana de Derecho Ambiental.
CCTA:	Coordinación en Ciencia y Tecnología en los Andes.



RESUMEN

La tunta es un alimento que tradicionalmente se produce y consume en el altiplano peruano boliviano, ancestralmente se utilizaba papas amargas en su elaboración. Actualmente se utiliza también variedades de papa dulce y su producción se ha extendido a otros pisos altitudinales de la sierra peruana. Consecuentemente se hace necesario estudiar las propiedades físicas de las variedades dulces con un potencial para su empleo en la elaboración de tunta. El objetivo del presente trabajo fue determinar el color (Método colorimétrico), las características geométricas (Análisis de imágenes), textura (Compresión mecánica) y la microestructura (SEM) en tres variedades de papa (Yana Imilla, Parko Chasca y Ccompis) a tres temperaturas de congelación (-5 °C, -10 °C y -15 °C) con la finalidad de que puedan ser utilizadas en la producción de tunta. Se obtuvieron las respectivas curvas de congelación determinando el tiempo, velocidad y temperatura de inicio de este proceso. Los datos obtenidos fueron analizados utilizando un diseño completo al azar con arreglo factorial con tres repeticiones. El método Canny nos permitió establecer el área superficial de los tubérculos ($19.76 \pm 1.009 \text{ cm}^2$). El proceso de congelación de La variedad Yana Imilla a -15 °C reporto los mejores resultados en tiempo de congelación, velocidad de congelación y temperatura de inicio de congelación. La variedad Parko Chasca a la misma temperatura de congelación presento menor variación de la firmeza respecto al producto original (16.66 %) y menor variación de color total (9.23). El análisis microestructural, mostró los cambios que ocurren en un alimento durante el proceso de congelación. Las variedades Yana Imilla y Parko Chasca son las que presentan mejores propiedades físicas para la elaboración de tunta.

Palabras clave: Congelación, Microestructura, Papa, Propiedades fisicoquímicas y Tunta.



ABSTRACT

Tunta is a food that is traditionally produced and consumed in the Bolivian Peruvian highlands; ancestrally, bitter potatoes were used in its preparation. Currently, sweet potato varieties are also used and their production has spread to other altitudinal levels of the Peruvian mountains. Consequently, it is necessary to study the physical properties of sweet varieties with potential for use in the production of tuna. The objective of this work was to determine the color (Colorimetric Method), the geometric characteristics (Image Analysis), texture (Mechanical Compression) and the microstructure (SEM) in three potato varieties (Yana Imilla, Parko Chasca and Ccompis) at three freezing temperatures (-5 °C, -10 °C and -15 °C) so that they can be used in the production of tunta. The respective freezing curves were obtained by determining the time, speed and temperature at the beginning of this process. The data obtained were analyzed using a complete randomized design with factorial arrangement with three repetitions. The Canny method allowed us to establish the surface area of the tubers ($19.76 \pm 1.009 \text{ cm}^2$). The freezing process of the Yana Imilla variety at -15 °C reported the best results in freezing time, freezing speed and freezing start temperature. The Parko Chasca variety at the same freezing temperature presented less variation in firmness compared to the original product (16.66%) and less variation in color total (9.23). Microstructural analysis showed the changes that occur in a food during the freezing process. The Yana Imilla and Parko Chasca varieties are the ones that have the best physical properties for the production of tunta.

Keywords: Freezing, Microstructure, Potato, Physicochemical properties and Tunta.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, ha aumentado el interés por el desarrollo del sector papa en el Perú, como el de garantizar la conservación de sus propiedades fisicoquímicas, nutricionales y organolépticas alargando así su vida útil el mayor tiempo posible; ya que la mayoría de hortalizas son perecibles; desarrollando innovaciones en sus derivados, como la tunta, que han tenido impactos positivos, tanto en la seguridad alimentaria como en la generación de ingresos económicos, en los diversos actores en la cadena de la papa, especialmente de los pequeños productores de tunta (C.I.P., 2011). El Perú es uno de los países a nivel mundial que alberga una diversidad de variedades en tubérculos de papa, ya que cuenta con más de 3 mil variedades de este tubérculo (MINAGRI, 2020), este es tradicional de la sierra peruana, ya que cuenta con un hábitat apropiado en zonas agroecológicas en especial para este tipo de cultivo que va desde los 3000 a los 4200 m.s.n.m. (SPDA, CCTA, INIA, 2015). La sierra es el principal productor de este cultivo, un 87 % de los productores se encuentran en esta región (Muñoz, Valdizán, Blanco, Gómez, & Alberto, 2018), para ellos es una importante fuente de ingresos, alimento e incluso, preservación de costumbres ancestrales, como lo es el caso de la tunta.

De acuerdo con la información del proyecto INCOPA - CIP, el mayor productor de tunta es Puno, donde se produce el 67 % del total nacional. (Centro internacional de la papa, 2019). Una vez que la papa fue domesticada, los pobladores andinos desarrollaron técnicas para su conservación, transformándola en tunta o chuño, con el objetivo de mantener su supervivencia y asegurar su alimentación. Esto ha permitido que los agricultores puneños apuesten por el cultivo de la papa y la elaboración de la tunta, esta



última beneficiada por el clima de Puno, en donde existe un microclima de extrema congelación, baja humedad y fuerte exposición solar durante el día (Sánchez, 2021).

Uno de los problemas en la actualidad se encuentra en la selección y clasificación como también en el proceso de transformación de los tubérculos de papa en la producción de la tunta, debido a que se tiene limitaciones tecnológicas, esto se debe a que se solo se apoyan del conocimiento en tecnologías ancestrales, que hasta el día de hoy permanecen vigentes a lo largo de la sierra peruana y que a la vez influye en la calidad de la tunta (Fonseca, Huarachi, & Ordinola, 2011). Para la elaboración de la tunta, el primer paso, es la selección de papas en el mes de abril, preparándolas para extenderlas a la intemperie a fines de mayo, para lograr su congelación en la noche y durante el día, se cubren con mantas para evitar su exposición directa al sol, este proceso se repite por cuatro días, al terminar este tiempo se realiza el pisado con los pies descalzos para quitar el agua y la piel de la papa. Para después sumergir las papas en un agujero cerca de un río, por un determinado tiempo y finalmente pasan a ser extendidas nuevamente a la intemperie, tapadas por mantas durante tres semanas hasta estar listas para almacenamiento (Peñarrieta et al. 2011).

Por eso la presente investigación se enfocará en el efecto de las temperaturas de congelación: $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, sobre las propiedades de congelación: Tiempo, velocidad y temperatura de inicio de congelación, propiedades fisicoquímicas: Firmeza, color (a^* , b^* L, YI y ΔE) y microestructura (Pared celular) en tres variedades de papa: Yana Imilla, Parko Chasca y Ccompis, puntualmente en el primer proceso de congelación para la producción de la tunta. Lo cual, contribuiría a la disponibilidad de víveres y el aseguramiento de la calidad alimentaria. Aún nos falta por investigar sobre la selección de que variedad de papa es la óptima para proceso de congelación, recongelación y



deshidratación en la producción de la tunta, para realizar su industrialización completa.

Con este propósito se plantearon los siguientes objetivos:

1.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar las propiedades de congelación, propiedades fisicoquímicas y microestructura en tres variedades de papa (*Solanum tuberosum*) a tres temperaturas de congelación (-5 °C, -10 °C y -15 °C), con un potencial uso en la producción de tunta.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar el tiempo, velocidad y temperatura de inicio de congelación graficando la curva de congelación en tres variedades de papa (Yana Imilla, Parko Chasca y Ccompis), sometidas a tres temperaturas de congelación (-5 °C, -10 °C y -15 °C).

Determinar la variación de textura, variación de color y microestructura (pared celular) en tres variedades de papa (Yana Imilla, Parko Chasca y Ccompis) descongeladas, sometidas a tres temperaturas de congelación (-5 °C, -10 °C y -15 °C).



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

Cabrera (2019), en el desarrollo de su investigación se estudió el efecto de la temperatura de congelación (-18 °C, -20 °C, -22 °C y -24 °C), en el color de tres variedades de papas nativas: Luqui Morada, Duraznillo y Qayma Marcela; para el análisis de color se utilizó Corel Photo Paint y Excel para hallar el % de agua congelada. Se concluyó que las temperaturas de congelación, si tuvieron efecto sobre el parámetro color y el % de agua congelada, independientemente a la variedad de papa que se estudió.

Hernández (2016), durante el desarrollo de su investigación se evaluó el efecto de la temperatura de congelación (-5 °C, -10 °C y -15 °C) y ultracongelación (-40 °C, -60 °C y -80 °C), sobre las propiedades fisicoquímicas de la papa, para ambos procesos se utilizó papas peladas tratadas en soluciones de NaCl y ácido cítrico, en 3 distintas formas: hojuelas de 5 cm x 0.2 cm, cubos de 1 cm x 1 cm x 1 cm y bastones de 1 cm x 1 cm x 7 cm. Concluyendo que los efectos de las temperaturas de congelación y ultracongelación fueron significativas tanto en el contenido de agua congelable y color, siendo el factor L en donde se observó una mayor diferencia, en cuanto al % de humedad, a_w y ΔE , si hubo efecto, pero solo en el proceso de ultracongelación. Las papas descongeladas en ambos casos presentaron una disminución significativa en el volumen.

Eguillor (2016), durante el desarrollo de su proyecto evaluó la posibilidad de utilizar una tecnología denominada NIRS, para la determinación de la textura en tubérculos de papa, como un criterio para evaluar la calidad en papas crudas y cocidas. Para determinar la fuerza máxima de punción, se usó un texturómetro TA-XT2, tomando



los datos de espectros de reflectancia NIR, de cada una de los 175 tubérculos de papa crudos y cocidos; estas a su vez se compararon con los hallados por el método químico métrico, prediciendo algunos parámetros de punción. Se concluyó que el uso de la tecnología NIRS, es una solución rápida y no destructiva manera de evaluar la textura en papas crudas, con un error de predicción de 0,06 a 1,12.

Della-Rocca, Roche, & Mascheroni (2013), realizaron una investigación sobre el efecto que tienen unas muestras de papas frescas pretratadas: P1 (Sin pretratamiento), P2 (deshidratación osmótica – microondas) y P3 (deshidratación osmótica - escaldado – microondas), sobre el proceso de congelación. En donde se concluyó que la muestra pretratada P2, se congelo más rápido que las otras dos, ya que presento un tiempo de congelación de 10 min.

Cuibus, Castro, Fito, & Fabbri (2013), en su investigación controlaron y monitorearon las temperaturas de la superficie de los tubérculos de papa en el transcurso del proceso de congelación a una temperatura de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, mediante una termografía infrarroja, determinando así los cambios de la estructura del tejido de la papa durante el proceso, analizando la humedad, volumen y a_w , antes y después del proceso. Lograron concluir que el proceso de congelación empieza, en determinadas áreas en donde se encuentra una alta actividad de agua y que estos a su vez generan núcleos de cristales causando una tensión superficial que dan paso a un incremento en el volumen, generando cambios estructurales.

Mendoza (2012), durante su investigación se modeló el cambio de textura y las curvas del perfil de temperaturas, en el transcurso del proceso de congelación (congelación rápida individual) de papas cocidas variedad criolla. Se congelaron con aire las papas a las temperaturas de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, y a las velocidades de congelación



por aire de 10 km/h y 20 km/h. El cambio de textura se graficó de acuerdo a la pendiente de la temperatura respecto a la velocidad de la pendiente de la temperatura hallada en el centro térmico de la papa. Concluyendo que los tubérculos de papa congelados por convección forzada fueron de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (20 km/h), $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ (10 km/h) y $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (20 km/h); con un cambio de textura del 5 al 7 %, en cambio por convección natural con un 14 %.

Ramírez, Cañizares, & Acevedo (2011), en su investigación realizaron una evaluación en el secado de hojuelas de dos variedades de papa Gabriela y Chaucha, mediante un proceso de criodesecación atmosférica (CDA), aplicando varios deshidratadores. Analizaron los cambios de color en el proceso de criodesecación empleando el Índice de Amarillez. Al realizar diferentes pretratamientos, se concluyó que obtuvieron los menores tiempos de secado y de color haciendo uso de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ y CaCl .

Carbonell, Oliveira, & Kelly (2006), en su investigación se analizó la textura de tubérculos de papa después de un proceso de congelación y descongelación a diferentes pretratamientos y velocidades de congelación, deseando hallar el mejor método para mantener las características de textura de la papa antes de ser congelada. Se evaluaron 10 condiciones de escaldado más un proceso de escaldado de dos pasos. Concluyeron que la mejor combinación fue la del proceso de escaldado de dos pasos con cloruro de calcio y con una velocidad de congelación rápida (congelación por inmersión), se conservó mejor la textura a un nivel macroestructural y microestructural.

Lewicki & Pawlak (2005), en su investigación evaluaron el efecto de la forma de secado en la microestructura de los tubérculos de papa mediante tres métodos: secado convectivo, secado por explosión y liofilización. Llegaron a la conclusión que el secado por explosión daña menos el tejido que el secado por convección, y que el secado por



congelación fue el más devastador para la microestructura del tejido, ya que fue por liofilización.

Álvarez, Morillo, & Canet (1999), en su pesquisa determinaron las condiciones óptimas del proceso de congelación sobre la actividad de la Pectín Esterasa (PE), parámetros reológicos y propiedades de textura en los tejidos de la papa, empleando un proceso de escaldado de dos pasos, y un proceso de congelación mediante vapor de nitrógeno líquido. Dando como resultado una alta correlación en el incremento de la Pectín Esterasa y la firmeza del tejido en las condiciones de congelación, probando que dicha enzima es un principal contribuyente en la firmeza que determina la calidad de la textura en el tejido de la papa congelada.

Álvarez & Canet (1997), en su pesquisa reportaron el efecto de diferentes velocidades de congelación: 0.5 °C/min, 1.15 °C/min y 2 °C/min; y un pre enfriamiento de 3 °C, durante media hora, sobre la resistencia mecánica de los tejidos de la papa en un intervalo de temperaturas que fueron de -3 °C a -18 °C, observando que el comportamiento reológico del tejido está directamente relacionado con el grado del daño estructural, encontrando que el pre enfriamiento reduce el cambio volumétrico y el craqueo estático de las muestras. El pre enfriamiento redujo el craqueo de muestras de manera más significativa en la velocidad de congelación de 2 °C/min. También se observó que no hay craqueo cerca del punto de congelación, ya que al llegar el centro térmico a congelarse existe menos agua disponible para congelar y el craqueo se ralentiza.



2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. La papa (*Solanum tuberosum*)

2.2.1.1. Generalidades de la papa

Uno de los alimentos más importantes del mundo después del arroz es el tubérculo de papa, clasificando su cultivo como fundamental y de primera necesidad. La agroindustria la considera uno de los esenciales cultivos agrícolas, por su disposición de crecer y adaptarse en diferentes condiciones ambientales. Posicionándola en el tercer cultivo más consumido a nivel mundial, por su versatilidad para su consumo, valor nutricional y su fácil acceso económico en diversos niveles socioeconómicos. La papa es una planta herbácea anual, la cual se reproduce a nivel sexual y asexualmente. Para la producción de papa sobre todo para su comercialización, la más usada es la reproducción asexual, en donde se utiliza la semilla del tubérculo de papa para el crecimiento de otros. Para diferenciar las variedades de papa, esta planta tiene características propias ya sea en el color de sus flores, el tamaño y la forma de sus hojas; hasta la forma, color en sus frutos la papa en sí misma, la diversidad es inmensa (Chávez, 2019).

2.2.1.2. Origen de la papa

Hoy en día el tubérculo de la papa es sembrado alrededor de todo el mundo, catalogada como una de las primeras plantas alimenticias domesticadas en el sur del Perú, en las zonas alto andinas del grandioso lago Titicaca (Rodríguez, 2010). Según las evidencias arqueológicas dan

a conocer que este cultivo data de las culturas preincaicas hace unos siete mil años atrás. Dando a parar e introducida en el siglo XVI a Europa desde América del Sur, unos años más tarde después de la conquista y descubrimiento de algunos territorios del Perú (Chávez, 2019).

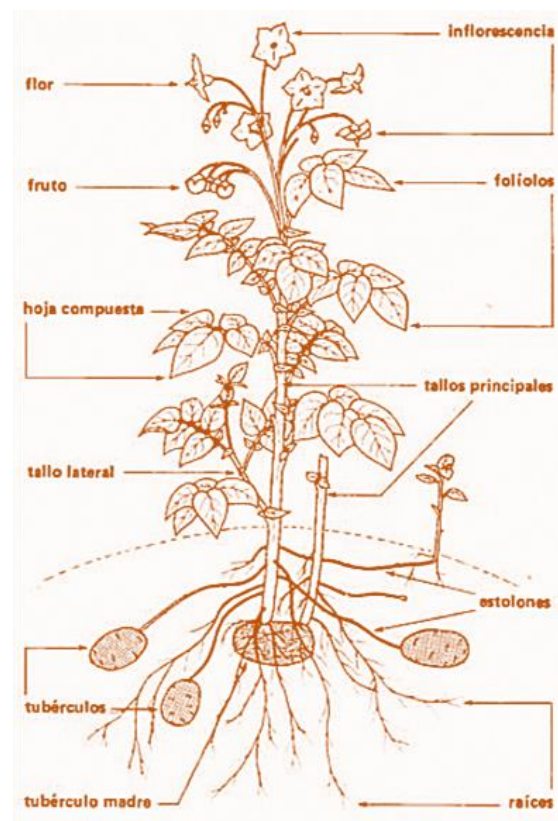
2.2.1.3. Descripción estructura general y taxonomía de la papa

2.2.1.3.1. Estructura general de la papa

La papa es una planta herbácea, el cual está dotada de una taxonomía aérea y una subterránea (Figura 1), siendo esta última en donde se desarrollan los tubérculos de papa (Realpe, 2010).

Figura 1

Estructura de la planta del tubérculo de la papa

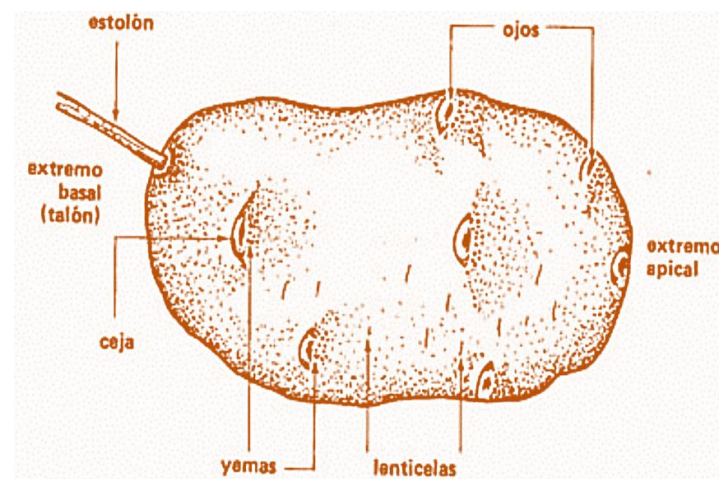


Nota: (INIA, 2002).

Los tubérculos de la papa están formados por un tejido parenquimático en donde se almacenan en una especie de capsula el almidón, esto se puede observar mejor en la Figura 3, estos son órganos comestibles en la papa, (Machuca & Pinedo, 2012). Los tubérculos cuentan con un extremo basal que está unido al estolón y este a la vez lo enlaza con el resto de la planta. Existe otro extremo opuesto al basal que se denomina apical, en donde se concentran la mayor cantidad de yemas, ojos y cejas, como se observa en la Figura 2. En la parte externa de la estructura del tubérculo de la papa también se pueden apreciar pequeñas aberturas llamadas lenticelas en forma de ojos pequeños, que en si son los poros respiratorios, por donde se permuta el aire gaseoso del ambiente al tubérculo y viceversa (Ceroli, 2022).

Figura 2

Estructura de la papa



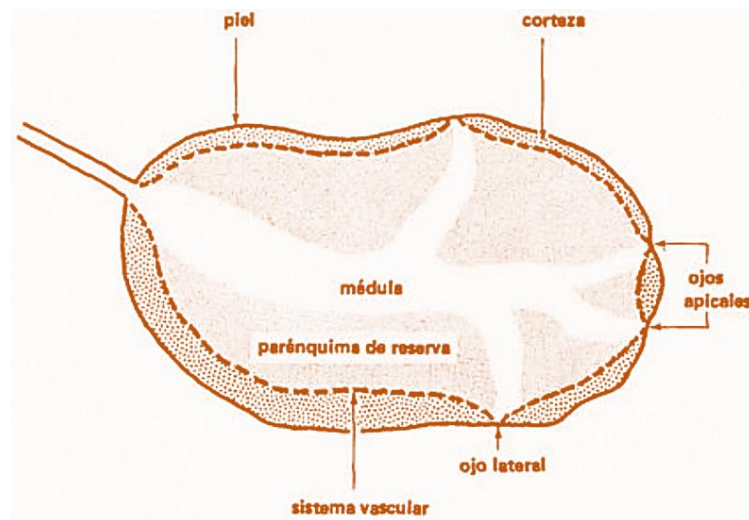
Nota: (INIA, 2002).

Por otro lado, si le hiciéramos un corte transversal al tubérculo tal como se muestra en la Figura 3, se observaría la piel compuesta por una epidermis/peridermis, también se observaría su corteza que es conocida

como tejido de almacenamiento, que envuelve a los almidones y proteínas; el sistema vascular, la parénquima de reserva y la médula, esta última es la zona más cristalina, con un alto contenido de agua y delgadas ramificaciones que conllevan a los ojos apicales y laterales (Machuca & Pinedo, 2012).

Figura 3

Estructura de la sección transversal de la papa



Nota: (INIA, 2002).

2.2.1.3.2. Taxonomía de la papa

En la Tabla 1, se muestra la posición taxonómica del tubérculo de la papa.

Tabla 1

Clasificación Taxonómica de la papa

Reino:	<i>Plantae</i>
División:	<i>Magnoliophyta</i>
Clase:	<i>Magnoliopsida</i>
Orden:	<i>Solanales</i>



Familia:	<i>Solanácea</i>
Género:	<i>Solanum</i>
Subgénero:	<i>Potatoe</i>
Sección:	<i>Petota</i>
Especie:	<i>Tuberosum</i>
Subespecie:	<i>Andigenum</i>

Nota: (C.I.P., 2008).

2.2.1.4. Composición química de la papa

Las características genéticas de la papa, hacen que la composición química no sea la misma en las distintas variedades de papa, pero parte de esta composición se muestra en la Tabla 2. Asimismo, esta se verá influenciada por diferentes factores como: la forma de cultivo, la variedad de la papa, el tiempo de almacenamiento, las zonas o lugares de crecimiento, madurez de cosecha, entre otros (Anderson, 1994).

Tabla 2

Composición química de la papa

Constituyente	Contenido (%)	
	<i>Promedio</i>	<i>Rango</i>
Agua	77.5	63.2 – 86.9
Sólidos totales	22.5	13.1 – 36.8
Materia seca	21.5	20 – 23
Carbohidratos totales	19.4	13.3 – 30.53
Fibra cruda	0.6	0.17 – 3.48
Proteína	2.0	0.7 – 4.6
Grasa	0.1	0.02 – 0.96
Ceniza	1.0	0.44 – 1.9

Nota: (Singh, Colussi, McCarthy, & Kaur, 2016).

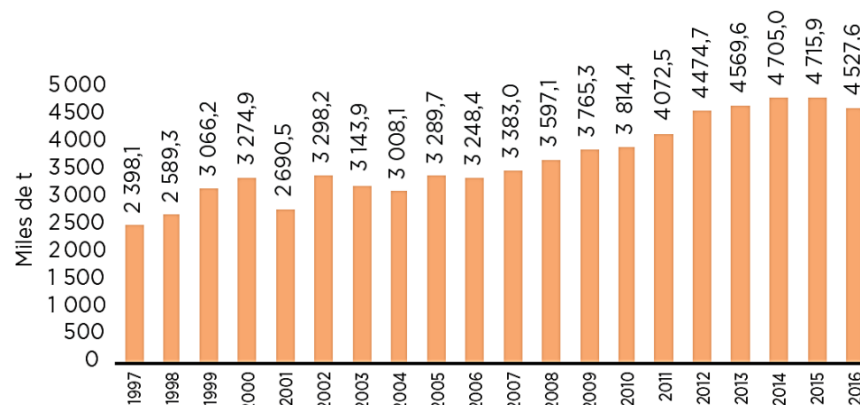
2.2.1.5. Producción de la papa

La producción mundial de papa en su mayoría destinada para su comercio tiene una estimación de 385 millones de toneladas en una superficie de 20 millones de hectáreas. Uno de los mayores productores mundialmente es China, con una estimación de 96 millones de toneladas por año, los otros productores son Estados Unidos, Canadá, Alemania, Rusia, Holanda, India, Polonia, Ucrania y los Países Bajos (FAOSTAT, 2018). En Latinoamérica, el Perú es uno de los principales países productores de papa, albergando una considerable diversidad de variedades de papa a nivel mundial, de las cinco mil que existen en toda Latinoamérica, tres mil son del Perú (MINAGRI, 2018).

En la Figura 4, se muestra la producción de papa en Perú durante los años del 1997 al 2016, podemos observar que la producción creció en 2 millones 129 mil de toneladas, es decir que hubo un incremento anual promedio del 1.8% y una tasa promedio anual de 3.4% (MINAGRI, 2017).

Figura 4

Producción de papa en el Perú desde 1997 al 2016

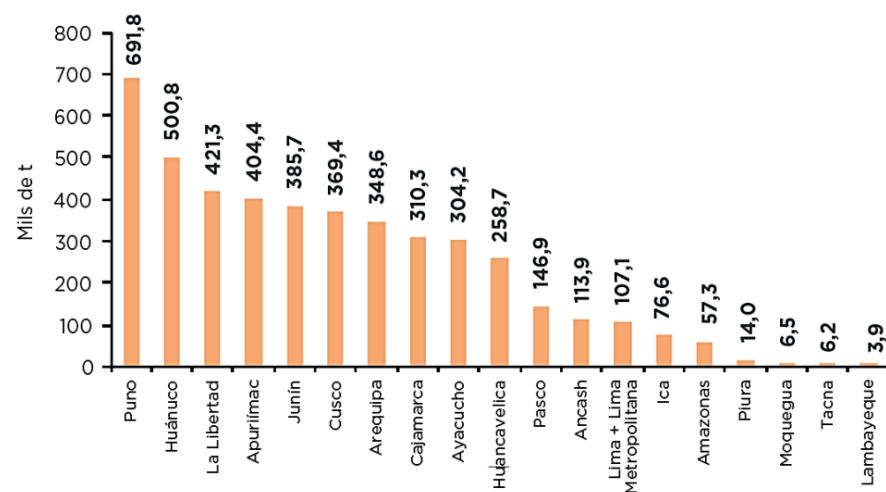


Nota: (MINAGRI, 2017).

En el Perú, el 47% de producción proviene de la sierra sur de nuestro país, entre ellas se encuentran la ciudad de Puno, Apurímac, Cusco, Arequipa, Ayacucho, Moquegua y Tacna, el 29% proviene sierra central entre ellas se encuentran Huánuco, Junín, Huancavelica y Pasco, el 20% proviene de la sierra norte, y el 4% del resto proviene de la central costa entre ellas se encuentran Lima e Ica, esto se aprecia mejor en la Figura 5. En el año 2016, Puno fue considerado uno de los principales productores de papa a nivel nacional, con 691.8 mil toneladas de producción anual (INEI, 2017).

Figura 5

Principales departamentos productores de Papa, 2016



Nota: (INEI, 2017).

2.2.1.6. Uso y aplicaciones de la papa

Las papas son aprovechados para un sin fin de propósitos ya sean como uso alimentario y no alimentario. Un poco más del 50% de las papas sembradas alrededor del mundo se consumen frescas, el 29% para la industria y el 15% destinado para la siembra, como semilla (CONPAPA,



2015), siendo este último de vital importancia, ya que, en comparación a otros cultivos, la papa se produce, a partir de otras papas. Es decir, de forma vegetativa (Centro Internacional de la papa, 2014).

Dentro de los usos no alimentarios se encuentra la elaboración de adhesivo, etanol, aglutinante y texturizador, para las industrias de madera, farmacéutica, textil y de papel. Así mismo se utiliza como alimento para el ganado llamados piensos. Mientras tanto dentro de los usos alimentarios la papa fresca tiene un inmenso uso dentro la gastronomía, mientras que en productos procesados tecnológicamente se encuentra la elaboración de harina, almidón, bebidas alcohólicas como el vodka, papas fritas congeladas, entre otros. Pero, así como hay productos procesados tecnológicamente también existen productos que no están procesados tecnológicamente, y tal es el caso en el que, en algunas culturas, aún se sigue manteniendo los procedimientos ancestrales, para la producción del chuño y de tunta, que en su forma final duran bastantes años (C.I.P., 2015).

2.2.2. La tunta

2.2.2.1. Generalidades de la tunta

La tunta es conocida también como “Moraya” o “Chuño Blanco”, es un producto deshidratado que no requiere de insumos adicionales y que solo se obtiene a partir de la papa, mediante un procedimiento artesanal que es favorecida por la geografía del altiplano y las condiciones naturales del clima (Fonseca, Huarachi, & Ordinola, 2011). El procedimiento artesanal que se lleva a cabo es un proceso de deshidratación de los



tubérculos a través de continuos congelamientos, que son protegidos de los rayos del sol y sumergidos bajo una corriente de agua de río (N.T.P. 011.400, 2007).

La tunta tiene características físicas muy singulares: entre ellas su peso ligero y su característico color blanco, conserva la forma de la papa a deshidratar, entonces se podría decir que sus formas que en su mayoría son oblongos y redondos; sus tamaños son variados, dependiendo del tipo de variedad de papa a utilizar para la producción de tunta (Fonseca, Huarachi, Chura, & Cotrado, 2008). Para obtener 1 kg de tunta se necesita 7 kg de papa es decir en una proporción de 7:1 (Fonseca & Ordinola, 2011). En la Tabla 3, se puede ver que entre su composición nutricional sobresale el alto contenido de almidón, relacionada con su elevado valor calórico energía (*Kcal*), esta a su vez es una fuente importante de calcio, lo sorprendente es que la cantidad de carbohidratos se triplica al valor de la papa fresca (Aquino, 2018).

Tabla 3

Composición nutricional de la Tunta

Elementos básicos	Cantidad
Energía (Kcal)	323
Agua (mL)	18.10
Proteína (g)	1.90
Carbohidratos (g)	77.70
Calcio (mg)	92
Fósforo (mg)	54
Hierro (mg)	3.3

Nota: (Tablas Peruana de Composición de Alimentos, Ministerio de Salud, Instituto Nacional de Salud, Centro Nacional de Alimentación y Nutrición., 1996).

2.2.2.2. Materia prima para la elaboración de la tunta

Para la producción de la tunta, es necesario que se utilicen como materia prima las papas recién cosechadas, las variedades que se emplean son diversas, entre ellas tenemos las nativas y las mejoradas (Fonseca, Huarachi, Chura, & Cotrado, 2008). En la Tabla 4 se presentan las principales variedades de tubérculos de papa designados a la producción de la tunta, dentro de la categoría nativas se encuentran las papas dulces y las amargas, esta última se caracteriza por su elevado contenido de glicoalcaloides (sustancia de sabor amargo); que desde tiempos remotos se utilizaba solamente para la elaboración de la tunta, ya que para hacer posible su consumo se remojava en ríos favoreciendo la disminución del contenido de glicoalcaloides (Fonseca & Ordinola, 2011).

Tabla 4

Principales variedades de papa destinadas a la producción de la tunta

VARIEDADES		
Papa Nativa		Papa Mejorada
Papa Amarga	Papa Dulce	
<i>Piñaza</i>	<i>Imilla Blanca</i>	<i>Chasca</i>
<i>Lock'a</i>	<i>Casa Blanca</i>	<i>Andina</i>
<i>Occocuri Blanca</i>	<i>Imilla Negra</i>	<i>San Juan</i>
<i>K'eta</i>	<i>Ccompis</i>	<i>Tahuaqueña</i>
<i>Parina</i>	<i>Huayro</i>	<i>Mi Perú</i>

Nota: (Julca, 2016).

2.2.2.3. Condiciones geográficas para la producción de la tunta

La tunta pasa por un proceso de transformación en el cual se requieren dos estipulaciones geográficas la primera es acceder a áreas planas y la segunda la existencia de una fuente de agua corriente. En donde

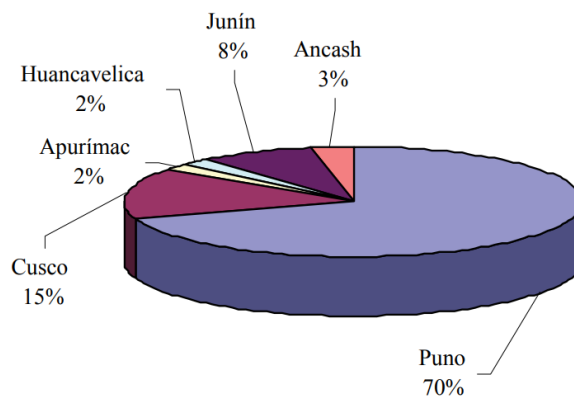


a las áreas planas se le sacara provecho para un buen proceso de congelación y secado, permitiendo una buena exposición a los rayos del sol como a las heladas. Mientras que en las fuentes de aguas corrientes como lo son los ríos con caudales ligeros, son los adecuados para el proceso de remojo de las papas, esto permitirá la disminución del contenido de glicoalcaloides (Centro Internacional de la papa, 2014). Las zonas en donde se produce la tunta, se encuentran sobre los 3800 m.s.n.m., son regiones alto andinas, ambientes geográficos como la puna, en estas zonas se posee un clima gélido, una geografía plana y ríos con caudales ligeros, los cuales son apropiados para su producción (Scott, Wong, Alvarez, & Tupac Yupanqui, 1992).

En el Perú como en el país vecino de Bolivia, forma parte de su cocina tradicional en diversos platos típicos, según (Fonseca & Ordinola, 2011) el 70 % de producción nacional proviene del departamento de Puno (en donde las zonas que más destacan son provincias el Collao, Carabaya, lampa, Chucuito y Azángaro); lo restante es asignado a los departamentos de Junín, Cusco, Apurímac, Ancash y Huancavelica, esto se puede observar en la Figura 6.

Figura 6

Distribución porcentual de la producción de tunta en el Perú



Nota: (Fonseca & Ordinola, 2011).

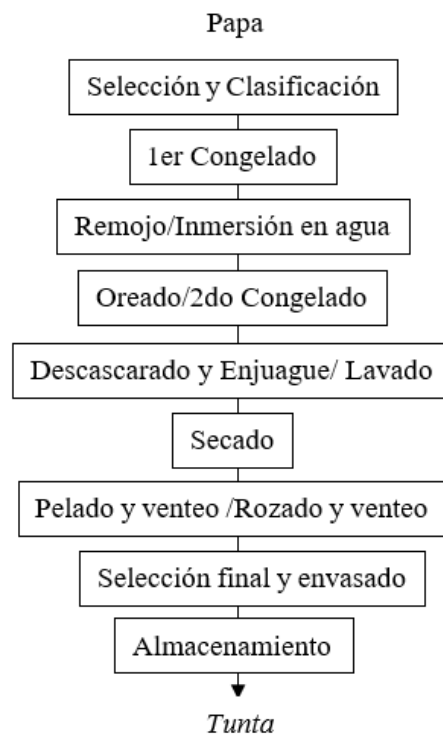
La época de producción en la que se realiza es en invierno, en donde las temperaturas son inferiores a 5 °C y son las más bajas durante el año, a toda esta temporada es llamada “época de helada”, que comienza en mayo hasta los últimos días del mes de julio, durante estos meses se origina una elevada radiación solar, poca presencia de nubes y una baja humedad relativa ($\leq 40\%$). Estos elementos son esenciales y principales para favorecer el proceso de congelado y secado natural del tubérculo de papa como materia prima, para que pueda transformarse en tunta (Fonseca, Huarachi, Chura, & Cotrado, 2008).

2.2.2.4. Proceso de producción de tunta

En este proceso, se comprenden nueve fases y se las denomina BPPAT que significa Buenas prácticas de procesamiento de la tunta (Fonseca, Huarachi, & Ordinola, 2011). En la Figura 7, podemos apreciar el flujograma desde la selección y clasificación de tubérculos de la papa hasta obtener el producto final de la tunta.

Figura 7

Fases del proceso de elaboración de la tunta en el altiplano peruano



Nota: (Fonseca & Ordinola, 2011).

2.2.3. Proceso digital de imágenes: Clasificación de tamaño en papas

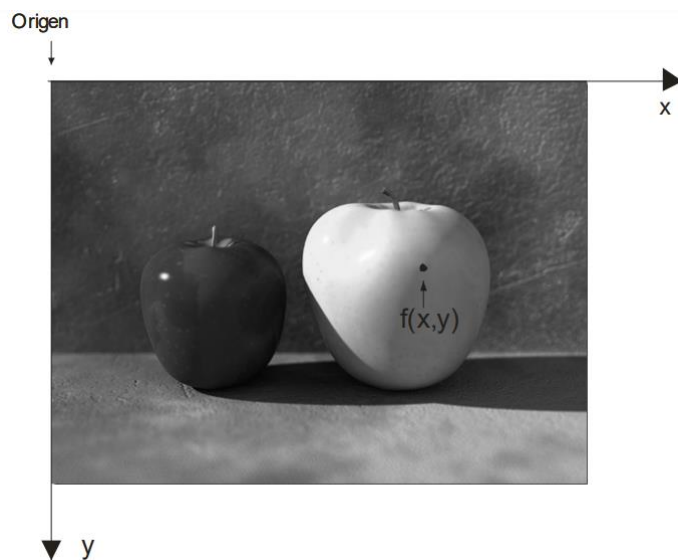
El campo del procesamiento de imágenes se deriva en dos áreas principalmente: La primera área es mejorar la información pictórica para la percepción del ojo humano, incluyendo la impresión y la transmisión, mientras que la segunda área es el poder procesar los datos de una escena, para la percepción autónoma por una máquina, cámara fotográfica (Vilca, 2013).

Una imagen puede ser definida como una función bidimensional de intensidad de luz $f(x, y)$, donde x e y representan coordenadas espaciales y el valor de f en cualquier par de coordenadas (x, y) es llamado como intensidad del nivel de gris en ese punto, como se muestra en la Figura 8. Una imagen digital es

una imagen $f(x, y)$ que se ha discretizado tanto en las coordenadas espaciales como en brillo. Se puede considerar a la imagen digital como una matriz cuyos índices de fila y columna identifican un punto de la imagen y el valor del correspondiente elemento de la matriz indica el nivel de gris en ese punto. Los elementos de una distribución digital de este tipo se denominan elementos de la imagen, llamados también pixels o pels; por la palabra en inglés picture elements, (Jiang, Hirokazu, & Keiji, 1998).

Figura 8

Representación de una imagen digital



Nota: (Jiang, Hirokazu, & Keiji, 1998).

2.2.3.1. Método Canny

Este método se desarrolló en el año 1986 por John Canny, consta de distintas etapas, en donde mediante imágenes se hallar una extensa escala de bordes. Para realizar este es necesario tener una cámara fotográfica y un sistema de detección de borde equipado con el algoritmo Canny (Canny, 1986). El área de la papa es determinada mediante el

conteo de los píxeles del borde de la imagen, programando una muestra patrón, definiéndola con una correlación lineal entre los píxeles hallados y el área en cm^2 , subiéndolo a una base de datos local en texto plano CSV, permitiéndonos clasificar por tamaño, las variedades de papa (Gutiérrez, Castillo, Mendoza, & Rivera, 2021).

Figura 9

Ejemplo de Detección de bordes mediante el método Canny



Nota: (Gutiérrez, Castillo, Mendoza, & Rivera, 2021).

En la Figura 9, se observa un ejemplo del método Canny en una papa, en donde la imagen “a” es imagen es la original, “b” es convertida a una escala de grises, “c” se le añadió un filtro de desenfoque gaussiano de tipo Blur y “d” es aplicando el algoritmo Canny. Las fases y especificaciones del algoritmo Canny son las que se presentan a continuación: (1ra fase) La imagen original se convierte a un brandal de grises, llamada imagen gray y para disminuir el ruido en la imagen se utiliza un filtro Blur Gaussiano, para rectificar la imagen a una proporción más pequeña se usa kernel de convolución de 5 x 5 píxeles (si o si tiene que ser impar), esto da como resultado una imagen sin definición, puesto que se eliminó valores en la imagen espurios. (2da fase) Con la imagen preparada se procede a aplicar el algoritmo de Canny, estableciendo



valores de umbral superior e inferior, en el superior se usa un 1.2 a 1.3 del valor de la mediana estadística, mientras que en el umbral inferior se usa un 0.7 a 0.8 (Gutiérrez, Castillo, Mendoza, & Rivera, 2021).

2.2.4. Proceso de congelación

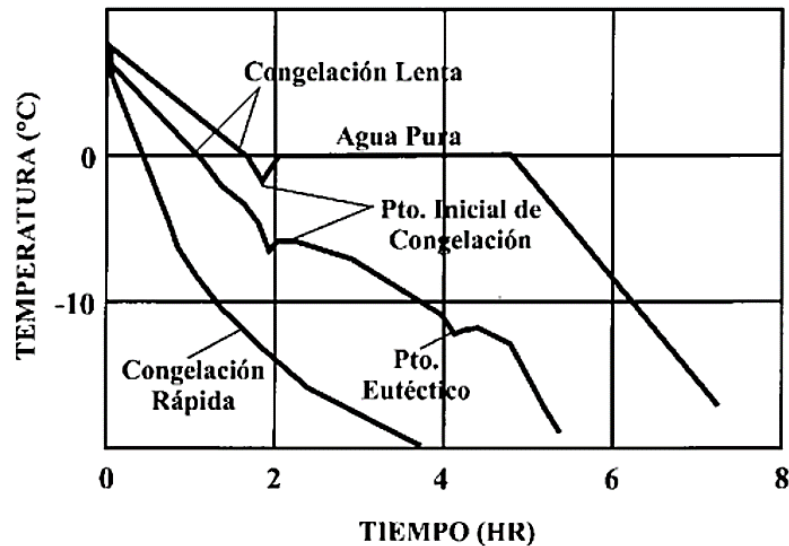
Es el cambio de una fase líquida a una sólida, en donde se produce un intercambiando el calor, en un proceso fisicoquímico algo difícil de comprender (Schneider & Mazur, 1984). El proceso de congelación se basa en usar temperaturas bajas por debajo de 0 °C, en los alimentos, es así que el agua presente en este se solidifica convirtiéndose en hielo esto a su vez produce una deshidratación en el alimento, lo que conlleva de una forma significativa a una óptima conservación, mientras más baja sea la temperatura este efecto será aún más importante para su conservación (Umaña, 2011).

2.2.4.1. Curva de congelación

La curva de congelación es el seguimiento que se realiza a la temperatura respecto al tiempo durante el proceso de congelación (Orrego, 2008). La curva de congelación de un alimento y de agua pura típica se muestran en la Figura 10.

Figura 10

Visión esquemática de los procesos de congelación de una sustancia pura (agua) y de un alimento a dos velocidades de congelación (rápida y lenta).



Nota: (Fennema, 2000).

Las figuras de las curvas de congelación varían dependiendo del alimento, ya que no son iguales, estas curvas se ven influenciadas por la uniformidad del alimento, su tendencia a formar soluciones, el tipo y la cantidad de solutos (Fennema, 2000).

2.2.4.2. Cristalización de agua

Durante el proceso de la formación del hielo, se llevan a cabo tres etapas:

2.2.4.2.1. Nucleación

Cuando se congela un producto o alimento lo que se va congelando lentamente es el agua que éste contiene, durante esta etapa se forman los núcleos de hielo, como resultado del sub enfriamiento, pasando de una fase



inestable a una más estable (Singh & Heldman, 2000). Existen tres clases de nucleaciones: homogénea, heterogénea y secundaria (Orrego, 2008).

2.2.4.2.2. Propagación de cristales de hielo

Una vez formados los núcleos de hielo (nucleación), se lleva a cabo el crecimiento de cristales, la velocidad y el mecanismo del incremento de los cristales dependerán básicamente de su morfología y concentración de la superficie (Fennema, Powrie, & Marth, 1973). Que un alimento congelado se encuentre físicamente “duro”, no significa que se encuentre del todo congelado, ya que el agua en los alimentos está presente como agua libre y agua ligada (forma parte de las proteínas y otras moléculas). El agua libre es el que se congela más rápido, mientras más baja es la temperatura, esto implica que el producto o alimento pueda conservarse por períodos mayores de tiempo, una mala aplicación de la cadena de frío genera exudación, y esto a su vez genera un fenómeno llamada recristalización (Singh & Heldman, 2000).

2.2.4.2.3. Maduración o recristalización

Son los cambios en su volumen, aspecto y el número, de la orientación o la perfección de los cristales después del proceso de congelación (solidificación) o la inicial cristalización. Mientras más transcurre el tiempo, el promedio de la medida de los cristales de hielo incrementa y su número se reduce a consecuencia de la redistribución del agua (Orrego, 2008).



2.2.4.3. Velocidad de congelación

La velocidad de congelación influye notablemente a la calidad del alimento o producto a congelar, ya que de esto depende el crecimiento de los cristales y por ende el daño que se produzca en el interior de las células (Umaña, 2007). Esta velocidad de congelación no es constante, puesto a que se desplaza desde el exterior al interior del alimento a congelar, mientras más sea la distancia de la superficie externa esta aumenta (Orrego, 2004). La velocidad de congelación ($^{\circ}\text{C}/\text{h}$), se halla al dividir la diferencia de la temperatura inicial y la temperatura final de un alimento congelado, entre el tiempo que duro este proceso hasta alcanzar la temperatura deseada (Bogh-Sorensen, 2006).

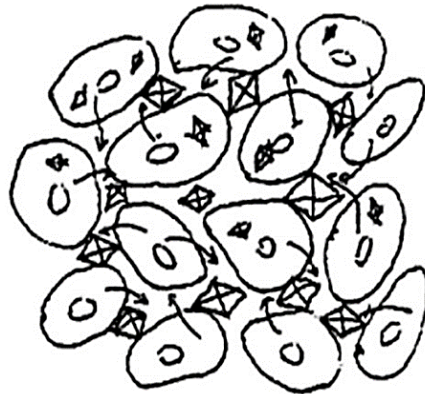
2.2.4.4.1. Congelación lenta

La congelación lenta es llamada también congelación convencional y se lleva a cabo a temperaturas $\geq -20^{\circ}\text{C}$ (Aguilar, 2012). Cuando se utiliza una velocidad de congelación lenta, los núcleos formados de los cristales de hielo generados en el interior del producto, son un grupo muy reducido y en su mayoría se producen en espacios extracelulares, estos van creciendo congelando el agua del alimento, hasta el punto de formar estructuras cristalinas grandes y en muchos casos en forma de agujas, ocasionando un incremento del agua extracelular a costa del agua intracelular y favoreciendo el desplazamiento de agua neta (Barreiro & Sandoval, 2006), estos cristales crecen lo suficiente para provocar daños físicos (cizalladuras) al tejido o paredes celulares afectando principalmente a la textura, este fenómeno es muy notable al descongelar

el alimento (Deshpande, Cheryan, Sathe, Salunkhe, & Luh, 1984). En la Figura 11, se observa todo este proceso respecto a la migración del agua intracelular como efecto de la velocidad de congelación lenta.

Figura 11

Migración de agua intracelular en congelación lenta



Nota: (Barreiro & Sandoval, 2006).

2.2.4.4.2. Congelación rápida

La congelación rápida es llamada también ultra congelación y se lleva a cabo a temperaturas inferiores de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Aguilar, 2012). Cuando se utiliza una velocidad de congelación rápida o ultrarrápida, se forman un gran número de núcleos de cristales de hielo pequeños en el interior de un producto o alimento, estos crecen casi paralelamente en los espacios extra e intra celulares, hasta el punto de formar estructuras esféricas transparentes de un tamaño reducido, con un menor desplazamiento del agua desde el interior hasta el exterior de cada célula (Barreiro & Sandoval, 2006), gracias a que estos cristales no crecen y se encuentran en gran cantidad no se produce mayores daños físicos celulares en

comparación con una congelación lenta (Añón & Calvelo, 1980), es decir no se incrementa su tamaño evitando el fraccionamiento de las células del producto a congelar (Bevilacqua, Zaritzky, & Calvelo, 1979), por consiguiente minimizan la lesión tisular y la pérdida de agua en su descongelación, este elemento es muy fundamental ya que influye en cierta medida a la calidad de los productos congelados (Deshpande, Cheryan, Sathe, Salunkhe, & Luh, 1984). La textura del alimento es mejor que la de la congelación lenta, y esta a su vez tendrá un mayor parecido con el alimento antes del proceso de congelación (Bevilacqua & Zaritzky, 1980). En la Figura 12 se observa todo este proceso respecto a la migración reducida del agua intracelular por efecto osmótico en la congelación rápida.

Figura 12

Migración de agua intracelular en congelación rápida



Nota: (Barreiro & Sandoval, 2006).

2.2.4.4. Tiempo de congelación

Es una medida que es representada con el tiempo que tarda un determinado alimento o producto en pasar desde una temperatura inicial a



otra temperatura final de congelación (Bogh-Sorensen, 2006). La duración o tiempo del proceso de congelación variará dependiendo de la naturaleza del alimento, la velocidad de congelación, el tamaño, la forma, el volumen, así mismo como los factores del medio de congelación y su transferencia de calor (Umaña, 2011). El método de congelación será decisivo para calcular el tiempo de congelación adecuado para un determinado producto o alimento (Heldman, 1983).

2.2.4.5. Métodos del proceso de congelación

Existen varios métodos de congelación, pero generalmente solo se utilizan tres para el proceso de congelamiento, la opción que se elija básicamente dependerá de ciertos requisitos como la capacidad, el costo y la viabilidad de su realización; todo esto conforme a la clase del alimento y la localización de la misma; son métodos se presentan a continuación:

2.2.4.5.1. Congelación por aire forzado o comprimido (por convección)

Esta congelación también es conocida como de impacto o ráfaga, un correntío de aire frío a una elevada velocidad pasa sobre el alimento, esta extrae o quita el calor almacenado en alimento hasta que se alcanza la temperatura final o la deseada, y esta es lanzada a un intercambiador de calor aire/refrigerante antes de ser recirculado (Umaña, 2011). Este método de congelación requiere un gran consumo de energía eléctrica, ya que al producir aire frío, a una determinada velocidad acompañada en su mayoría con ventiladores lo requiere, los alimentos a congelar en algunos casos son sometidos a contracorriente en un túnel con transportador



continuo, o también, dejándolo inmóvil el alimento en un túnel estacionario (Refrigeradora convencional), este método puede adaptarse a cualquier alimento, sea cual sea la forma, tamaño, volumen y clase de envase (Fernández, 2008).

2.2.4.5.2 Congelación por contacto o placas (por conducción)

Este método se caracteriza por la colocación del alimento en superficies de metal, el calor es sustraído por conducción directa por medio de las superficies solidas metálicas, que son enfriadas mediante un refrigerante que circula en esta (Umaña, 2011). Entre estos congeladores destacan los congeladores de placas, que se montan en paralelo en un sentido horizontal o vertical, que en su mayoría son metales con una alta conductividad térmica, por ejemplo, el aluminio (Fernández, Álvarez, & Canet, 2006).

2.2.4.5.3. Congelación Criogénico (convección/conducción)

Los alimentos son expuestos a temperaturas por debajo de $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, mediante el uso de fluidos criogénicos (bióxido de carbono liquido o nitrógeno líquido), en una cabina de congelación (Umaña, 2011). Los fluidos criogénicos reemplazan al aire frio para obtener el efecto congelador, mediante una relación continua entre el alimento/producto y el fluido criogénico (Fernández, Canet, & Álvarez, 2009).



2.2.5. Propiedades fisicoquímicas en los alimentos

2.2.5.1. Textura

La fragilidad, firmeza, dureza, elasticidad, adhesividad, viscosidad así también como la cohesividad, son parte de los distintos indicadores que conforman la textura, (Sigurgisladottir, Hafsteinsson, Jonsson, Nortvedt, & Thomassen, 1999). Estas medidas objetivas propias de la textura pueden medirse mediante un texturómetro (Veland & Torrissen, 1999), así mismo como existe métodos con equipos costosos y que destruyen las muestras a analizar, también existen métodos de fácil uso, no destructivos y sencillos (Botta, 1991). Para la evaluación de la textura la firmeza tiene un especial interés y esta puede ser medida con la ayuda de diversos procedimientos o test, tales como el de: corte, torsión, punción y compresión (Bourne, 2002). El test de punción es recomendado para el uso en particular de la evaluación de la firmeza en patatas crudas mediante un texturómetro TA-XT2 (Alvarez, Canet, & López, 2002), este proceso consiste en la introducción de una o varios punzones o agujas midiendo la fuerza necesaria para atravesar a un determinado alimento (García, Bello, & Martínez, 2008). Existen principales elementos que afectan la calidad de la textura en la papa, ya sea el contenido de almidón, distribución celular, el tamaño celular, composición y estructura de la pared celular (Eguillor, 2016).



2.2.5.2. Color (L^* , a^* y b^*)

El sistema de medición de color instrumental más utilizado es CIELAB L^* , a^* y b^* , seguido del Hunter L, a y b (Gonçalves, Pinheiro, Abreu, Brandão, & Silva, 2010), que básicamente consta de tres sensores de color que son susceptibles al azul, rojo y verde. Para tomar las medidas en la escala CIE L^* , a^* y b^* , es necesario el uso de un colorímetro, en donde se podrá medir L^* que es definido como ligereza o luminosidad, mientras que a^* y b^* , son definidos como las coordenadas de cromaticidad o coordenadas rectangulares. Dentro de estas últimas: a^* tiene la tendencia al color rojo, $-a^*$ al color verde, b^* al color amarillo y $-b^*$ al color azul. En el medio de estas coordenadas se encuentra una lente acromática con una masificación de color creciente a medida que se incrementa los valores a^* y b^* (Olivas & Barbosa, 2004).

2.2.6. Análisis de microestructura en la papa

En cuanto a la microestructura de la papa fresca sin algún proceso, se puede observar la piel exterior (cáscara), llamada también peridermis, debajo de esta se encuentra la corteza que en si es delgada y forma parte del tejido parenquimático, en donde normalmente se pueden contemplar numerosos granos ovalados y redondos de almidón (Machuca & Pinedo, 2012).



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La congelación en cada una de las tres variedades de papa (Yana Imilla, Parko Chasca y Ccompis) y las evaluaciones de las temperaturas de congelación (-5 °C, -10 °C y -15 °C), se realizaron en los siguientes laboratorios: Laboratorio de Ingeniería de los Alimentos (La adquisición de imágenes de los tubérculos de papa), laboratorio de Postcosecha (Proceso de congelación) y el laboratorio de Biotecnología (el análisis de la microestructura de la papa congelada); situados en la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano de la ciudad de Puno - Perú, ubicado a una altitud de 3824 m.s.n.m., durante los meses de Enero del 2023 hasta Julio del 2023.

3.2. MATERIA PRIMA

Se utilizó como materia prima tubérculos de papa (*Solanum tuberosum*), en tres variedades: Yana Imilla, Parko Chasca y Ccompis; provenientes específicamente de la cooperativa de los productores agropecuarios Concahui S.R.L., del distrito de Ilave, departamento de Puno, cuyas semillas provinieron de la estación experimental Salcedo INIA-Puno: Yana Imilla y Ccompis (Véase Anexo 1 y 2, Constancia de Certificación de Semillas), mientras que la semilla de Parko Chasca provino de la misma cooperativa que sembraron las otras dos variedades de semillas, se escogieron los de mejor aspecto en cuanto a color, tamaño, y sin signos de daño o magullones. Que tuvieron un promedio de peso de 48.7 ± 2.8 g, con diámetros: lado mayor de 5.24 ± 0.23 cm y lado menor 4.83 ± 0.31 cm, en estado madurez comercial.



3.3. MATERIALES Y EQUIPOS

Para el estudio de congelación de cada una de las tres variedades de papa, se emplearon los siguientes materiales, equipos, instrumentos de medición y software:

3.3.1. Materiales

- Cronómetro Digital, PS-360.
- Toalla de algodón (15 cm x 30 cm).
- Calibrador Vernier Digital, precisión 0.01 mm.
- Porta y cubre objetos, Microscope Slides, Pre-cleaned, 0.8 mm -1,2 mm Thick, 25x25 mm Plain, 90° Corners, Ground Edges.
- Pinzas quirúrgicas.
- Bisturí quirúrgico.
- Lugol de Gram líquido, 15 mL.
- Agua destilada.
- Alcohol 96°, 100X Laboratorio Hersil S.A.
- Fanelas de algodón (3 cm x 3 cm).
- Vaso de precipitado de 1000 mL.
- Vaso de precipitado de 10 mL.
- Pipetas de 10 mL.
- Pipeta pasteur plástica graduada 1 mL.
- Probeta de 100 mL.
- Probeta 10 mL.
- Cinta métrica, regla.
- Guantes de látex desechables, tallas S, Eterna.
- Escobilla de plástico pequeño (5 cm x 1.5 cm).



- Recipientes de plástico, capacidad 3 L.
- Recipientes de plásticos, capacidad 1 L.
- Tápers con tapa de plástico capacidad ½ L.
- Hola Milimétrica tamaño A4.
- Hoja de color negro A4.
- Pilas Heavy Duty, R6 SIZE AA 1.5V, Toshiba.
- Tarjeta SD, 16 GB.
- USB. HP, 32 GB.
- Cámara fotográfica D70004F-S, Nikon.
- PC Intel, Core i7-2600.
- Laptop HP, Intel Core i5 Inside.

3.3.2. Equipos

- Congelador convencional, cap. 142 L. Refrigerante Gas R600a.
DAEWOO, FF-142ACW.
- Microscopio Óptico Olympus BX43
- Micrótopo 10B014, American Optical, medida de ajuste 2 a 40 micras.
- Balanza Analítica TM-PAI 214C, 210 - 0.0001gr.

3.3.3. Instrumentos de medición

- Texturómetro CT3, LFRA Texture Analyzer.
- Colorímetro Digital LCD portátil SC20.
- Data Logger, tipo k, AZ 88598.

3.3.4. Software

- Software Open CV + Python.

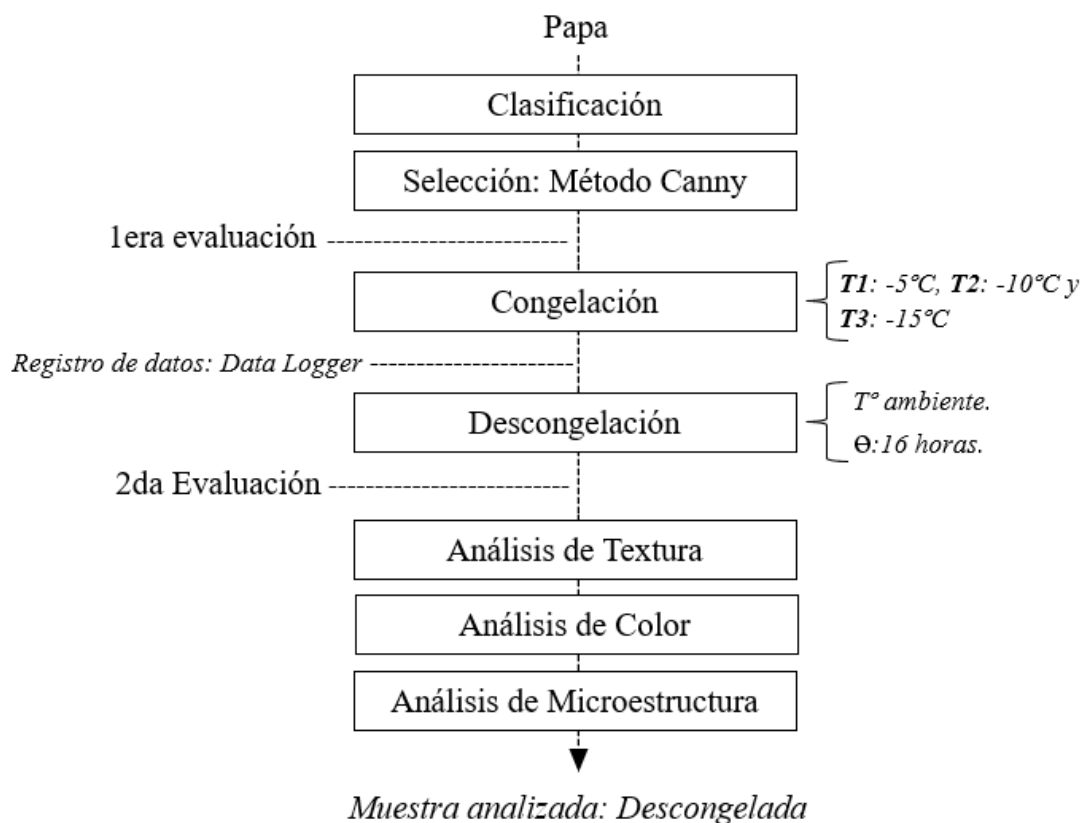
- Software Estadístico Infostat.
- Software Microscopio Óptico CellSens Estándar

3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La metodología experimental general de este proyecto de tesis, es la que se muestra en la Figura 13, ya que para lograr el objetivo general se estudiaron los efectos de la congelación sobre la papa (*Solanum tuberosum*), la cual consistió básicamente en dos etapas: Clasificación y selección de la materia prima por el Método Canny, y la congelación de las papas enteras a diferentes temperaturas (-5 °C, -10 °C y -15 °C).

Figura 13

Flujograma de Metodología General





3.4.1. Metodología General

- **Clasificación y Selección: Método Canny.** Se lavó y seleccionó los tubérculos de papa, para la adquisición de fotos clasificándolo mediante el método Canny (Véase 3.4.1.1.).
- **1era Evaluación.** Se evaluó los prospectos de tubérculos de papa mediante su tamaño, forma, volumen y peso. Seleccionando 27 tubérculos de papa en cada una de las variedades de papa (Yana Imilla, Parko Chasca y Ccompis).
- **Congelación.** Se congeló los tubérculos de papa a las tres temperaturas de congelación (-5 °C, -10 °C y -15 °C) en un congelador convencional (Véase 3.4.1.2.).
- **Registro de datos.** Se registró la evolución de la temperatura cada 5 segundos mediante un Data Logger de forma interna y externa, hasta obtener la temperatura deseada (-5°C, -10°C y -15°C).
- **2da Evaluación.** Se evaluó mediante la obtención de las curvas de congelación.
- **Descongelación.** Se descongeló a una temperatura ambiente durante un lapso de 16 horas.
- **Análisis de textura.** Se determinó mediante un texturómetro CT3.
- **Análisis de color.** Se determinó mediante un colorímetro digital LCD.
- **Análisis de microestructura.** Se determinó mediante un microscopio Óptico Olympus BX43.



3.4.1.1. Metodología para la Clasificación y Selección.

- **Materia prima.** Se compró 20 Kilos de cada una de las tres variedades de papa: Yana Imilla, Parko Chasca y Ccompis.
- **Pre-Lavado.** Se realizó un primer lavado manual en un recipiente de plástico con agua para retirar el exceso de tierra adherido a la papa para obtener una mejor apreciación y observación sobre el tamaño de papas. Estas se secaron a temperatura ambiente ayudándolas a retirar el agua excedente con una toalla.
- **Clasificación.** Se clasificó las papas lavadas por tamaño (grandes medianas y pequeñas), sobre una superficie baja de madera para tener una mejor vista.
- **Lavado.** Se realizó un lavado a profundidad con agua y escobilla retirando lo que quedó de tierra en las yemas, cejas y ojos de la papa, como también los esclerocios de rizoctonia adheridos en esta.
- **Secado.** Se secó con una toalla, para retirar el exceso de agua.
- **Selección.** Se seleccionó las papas que se encontraron en buenas condiciones sin daños físicos ni enfermedades que se producen en los cultivos de las papas, se escogieron los de mejor aspecto en cuanto a color, tamaño, y sin signos de daño o magullones.
- **Análisis de Imágenes.** Se clasificó de acuerdo a su área mediante un análisis de imágenes llamado Método Canny (toma de fotos), respaldado por la mediadas de su diámetro, tamaño y forma tomadas mediante un vernier. Se codifico cada una de las papas, según su variedad: Y: Yana Imilla, CH: Parko Chasca y C:



Ccompis (Véase “3.4.1.1.1. Aplicación del Método Canny”, pág. 57).

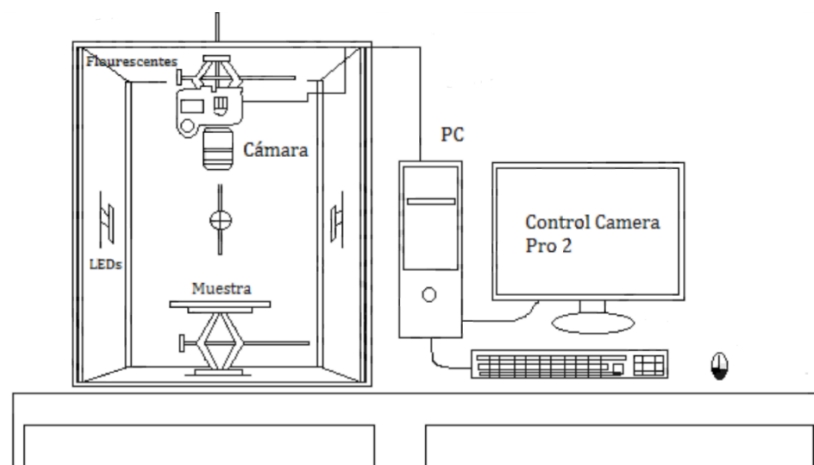
- **Pesado.** Se pesó cada una de las papas para ver el promedio que pesaran cada una de estas para sacar un rango de peso y a la vez se determinó el volumen (Véase “3.4.1.1.2. Determinación del Volumen, pág. 57).
- **Conservado.** Se conservaron en una caja de cartón cerrada para evitar el contacto con la luz solar a una temperatura ambiente.

3.4.1.1.1. Aplicación del Método Canny

El ambiente para el estudio y análisis del método Canny constó de un ambiente cerrado y una cámara conectada a una computadora, tal como se observa en la Figura 14. Una vez obtenida la imagen original con la región de interés segmentada, se convirtió a escala de grises para después aplicar el filtro Gaussiano (tipo Blur) con una convolución de 5x5 píxeles. Con esta imagen preparada se procedió a aplicar el algoritmo de Canny con un umbral inferior 0.75 y superior de 1.25 (Gutiérrez, Castillo, Mendoza, & Rivera, 2021).

Figura 14

Sistema de adquisición de imágenes



Nota: (Vilca, 2013).

3.4.1.1.2. Determinación de Volumen

En una probeta o vaso precipitado con una capacidad de 1000 mL (1 Lt.) se llenó con agua hasta 600 mL y se introdujo el tubérculo de papa, para observar el volumen del agua que se desplazó hacia arriba siendo este el volumen real del tubérculo de papa sumergido (Buitrago, López, Coronado, & Osorno, 2004).

3.4.1.2. Metodología para la Congelación

- **Registro de medidas.** Se tomó las medidas con el vernier ancho, largo y grosor, esto con el fin de encontrar el punto más próximo al centro de cada una de las papas.
- **Inserción del sensor.** Con las medidas tomadas anteriormente se insertó el sensor para llegar al centro de cada una de las papas y así obtuvimos datos más precisos para las temperaturas estudiadas.



- **Programación de la temperatura.** Se programó las temperaturas estudiadas en el congelador, las cuales son: $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- **Toma de datos.** Una vez programado la temperatura en el congelador, procedí a introducir la papa junto al sensor, para empezar a grabar los datos de la temperatura dentro de la papa y fuera de la papa, hasta llegar a las temperaturas estudiadas ($-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$).
- **Registro.** Se registraron los datos en una laptop, para graficar la curva de congelación.
- **Pesado.** Se volvió a pesar la papa para observar los cambios.

3.5. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

3.5.1. Determinación de las propiedades de congelación

Para la obtención de las curvas de congelación se monitorearon y registraron los perfiles de temperatura en el centro térmico del tubérculo de la papa mediante un Data Logger de tarjeta SD, con sensores de temperatura tipo k, AZ 88598, en donde se llevaron a cabo los experimentos desde una temperatura de $12.19\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $12.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, hasta obtener la misma temperatura de la cámara de congelación en su centro térmico de $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$; en cada uno de los tubérculos de papa estudiado (Della-Rocca, Roche, & Mascheroni, 2013) y (Hernández, 2016).

3.5.1.1. Determinación del tiempo y velocidad de congelación

Para la determinación del tiempo y velocidad de congelación se tomaron en cuenta el registro de las temperaturas en tiempo real, en cada uno de los experimentos (Método gráfico).



3.5.1.2. Determinación de la temperatura de inicio de congelación

Para la determinación de la temperatura de inicio de congelación se tomaron en cuenta las curvas de congelación y el registro de las temperaturas en tiempo real, en cada uno de los experimentos (Método gráfico).

3.5.2. Determinación de las propiedades fisicoquímicas

3.5.2.1. Determinación de la textura

Para la evaluación de textura se descongelaron los tubérculos de papa a una temperatura ambiente, durante un aproximado de 16 horas, una vez preparados los tubérculos se procedió a la evaluación de los cambios en la textura mediante el método de esfuerzo de corte utilizando un accesorio de Warner Brazler este texturómetro es conocido como Texture Analyzer CT3, la aguja que se uso fue de acero inoxidable N° 15, con 2 mm de diámetro, que atravesó cada uno de los tubérculos con dos punciones en posiciones opuestas, a una velocidad de 0.5 mm/s y una profundidad de penetración 20 mm, ambos parámetros fijos para cada uno de los ensayos, en donde se obtuvo el valor de la fuerza de penetración (N), medida de firmeza. (Vieira, Martinez, Diaz, & Garcia, 2004) y (Kumar, Khade, Dhokane, Behere, & Sharma, 2007).

3.5.2.2. Determinación de Color

Se realizó un corte con un bisturí quirúrgico, para analizar el color de la pulpa de los tubérculos de papa congelados, se determinó el color instrumental mediante un colorímetro digital LCD portátil SC20, a través

del modelo cromático del sistema CIELAB o CIE $L^*a^*b^*$. (AOAC, 1990).

Este sistema me permitió identificar el color con la ayuda de los siguientes parámetros de relación:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L)^2} \quad (1)$$

En donde:

ΔE : Variación total de color.

L^* : Luminosidad, el valor de claridad/oscuridad (+ = claro; - = oscuro).

a^* : El eje de tonalidades rojo/verde (+ = rojo; - = verde).

b^* : El eje de tonalidades amarillo/azul (+ = amarillo; - = azul).

Para determinar el índice de amarillez (YI), se utilizó la Ecuación 2 (Quispe, 2021):

$$YI = 142.86 \left(\frac{b^*}{L} \right) \quad (2)$$

En donde:

YI: Índice de color amarillo respecto a la temperatura de congelación.

3.5.3. Sistema de adquisición de micrografías de la microestructura de la papa congelada

Para la evaluación de la microestructura (pared celular) del tubérculo de papa congelado, se utilizó la metodología recomendada por (Zarlavsky & Fabbri, 2009), para ello utilicé un Microscopía óptico de sistema Olympus BX43, con el fin de observar los cambios sufridos de la microestructura del tejido del tubérculo de papa (pared celular), luego del proceso de congelación. Las muestras cortadas



mediante un micrótomo con un grosor 4 mm, se fijaron en una porta y cubre objetos cubiertas con lugol diluido en agua destilada 1:3 (Mulisch & Welsch, 2015). Una vez fijadas para su observación en el microscopio se realizaron las tomas micrográficas, de los cambios vistos durante la observación del tejido.

3.6. UNIDADES DE ANÁLISIS Y OBSERVACIONES

3.6.1. Factores de estudio

3.6.1.1. Variedades de papa

- Yana Imilla o Imilla Negra (Y).
- Parko Chasca (CH).
- Ccompis (C).

3.6.1.2. Temperaturas de congelación

- $T1$: -5 °C.
- $T2$: -10 °C.
- $T3$: -15 °C.

3.6.2. Variables de respuesta

3.6.2.1. Para el primer objetivo: Propiedades de congelación

- Curva de congelación.
- Tiempo de congelación (s).
- Velocidad de congelación.
- Temperatura de inicio de congelación (-10 °C y -15 °C).

3.6.2.2. Para el segundo objetivo: Propiedades

físicoquímicas/microestructura

- Textura (N).

- Análisis de color (L , a^* , b^* , ΔE : *Variación de total color y YI: Índice de amarillez*).
- Tomas micrográficas de la pared celular.

3.7. DISEÑO EXPERIMENTAL

Para la evaluación de los datos obtenidos durante la investigación se realizó un análisis de varianza (ANOVA), con un 95.0% de significancia y test de Duncan ($P \geq 0.05$) para determinar las posibles diferencias entre las muestras de las variedades, aplicando un diseño completamente aleatorio con arreglo factorial de 3 variedades de papa x 3 temperaturas de congelaciones x 3 repeticiones, con un total de 27 datos obtenidos, para comparar y evaluar las propiedades de congelación (*curva de congelación, tiempo, velocidad y temperatura de inicio de congelación*) así como también los datos de propiedades fisicoquímicas (*textura y color*) y las micrográficas de la pared celular.

Modelo:

$$\gamma_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

- γ_{ijk} = Variable de respuesta.
- μ = Media general del experimento.
- α_i = Efecto del i-esimo tratamiento (variedad de papa).
- β_j = Efecto del j-esimo tratamiento (temperatura de congelación).
- $\alpha\beta_{ij}$ = Efecto de la ij-esima interacción de variedad de papa y temperatura de congelación.
- ε_{ijk} = Error experimental.

Para la recolección de datos se utilizó el siguiente formato mostrado en la Tabla 5, donde se registraron todos los datos experimentales para cada variable de respuesta.

Tabla 5

Distribuciones de tratamientos y repeticiones

Exp.	Variedad	Rep.	T (°C)	T_i (°C)	t_{cong} (min.)	V_{cong} (°C/min)	ΔE	YI
1	Yana Imilla	1	-5					
2	Yana Imilla	2	-5					
3	Yana Imilla	3	-5					
4	Yana Imilla	1	-10					
5	Yana Imilla	2	-10					
6	Yana Imilla	3	-10					
7	Yana Imilla	1	-15					
8	Yana Imilla	2	-15					
9	Yana Imilla	3	-15					
10	Parko Chasca	1	-5					
11	Parko Chasca	2	-5					
12	Parko Chasca	3	-5					
13	Parko Chasca	1	-10					
14	Parko Chasca	2	-10					
15	Parko Chasca	3	-10					
16	Parko Chasca	1	-15					
17	Parko Chasca	2	-15					
18	Parko Chasca	3	-15					
18	Ccompis	1	-5					
20	Ccompis	2	-5					
21	Ccompis	3	-5					
22	Ccompis	1	-10					
23	Ccompis	2	-10					
24	Ccompis	3	-10					
25	Ccompis	1	-15					
26	Ccompis	2	-15					
27	Ccompis	3	-15					

Nota: T_i = Temperatura de inicio de congelación, t_{cong} = Tiempo de congelación V_{cong} = Velocidad de congelación, YI = Índice de Amarillez y ΔE = Variación de color total.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DETERMINACIÓN EL TIEMPO, VELOCIDAD Y TEMPERATURA DE INICIO DE CONGELACIÓN GRAFICANDO LA CURVA DE CONGELACIÓN EN TRES VARIEDADES DE PAPA (YANA IMILLA, PARKO CHASCA Y CCOMPIS), SOMETIDAS A TRES TEMPERATURAS DE CONGELACIÓN (-5°C, -10°C Y -15°C).

4.1.1. Evaluación del área: Método Canny

Para la clasificación y selección de tubérculos de papa se separó los que tenían problemas por daño físico como magulladuras y cortes, así como también los de daño por insectos como los agusanados; con daños fitosanitarios o algunos problemas como papas con verrugas, podridas y verdosas; de los tubérculos de papa que se encontraban sanos y maduros. Con el fin de seleccionar los más propicios para su posterior evaluación.

En la Tabla 6, se muestra el promedio del área superficial de los tubérculos de papa seleccionados, mediante el Método Canny.

Tabla 6

Área superficial: Método Canny

<i>Yana Imilla</i>	<i>Parko Chasca</i>	<i>Ccompis</i>
Área superficial promedio (cm^2)		
19,76 ± 1,009		

En el Anexo 6 (Tabla 10), se muestran previamente con sus códigos, para poder diferenciarlas, con un área promedio de 19,76 ± 1,009 cm^2 en las tres



variedades de estudio: Yana Imilla, Parko Chasca y Ccompis. Según García & Santander (2011), para facilitar la selección y clasificación por tamaño, en grandes cantidades de papa ellos utilizaron zarandas graduadas, que les dio como resultado la obtención de tubérculos de papas uniformes. De igual forma Gutiérrez, Castillo, Mendoza, & Rivera (2021), mencionan que para una mejor selección y clasificación no solo en tamaño, sino también en variedad, el uso del algoritmo de detección de bordes de John Canny es el más adecuado, en el cual mediante la toma de fotografías posteriormente “*imágenes*”, se realiza una detección de bordes configurado, dándoles como resultado la obtención de tubérculos de papas más uniformes con un mínimo error. También mencionan que las papas que analizaron por el método de Canny tuvieron un área de 22.07 cm^2 a 74.91 cm^2 , esta diferencia se debe a que ellos utilizaron distintas variedades de papa para ver si el método facilitaba la identificación de variedades y a su vez de su tamaño, entre ellas estudiaron papas de un tamaño mediano y grande. La única desventaja del método Canny es que no se puede aplicar en grandes cantidades de papa. A la vez también se muestran las medidas de sus diámetros lado mayor y lado menor que oscilan entre 5.00 a 5.47 cm y 4.51 a 5.14 cm respectivamente con una variación mínima de lado mayor a lado menor; asimismo la medida del grosor de la papa varía de 3.22 a 3.88 cm, estas diferencias se deben a que las papas no tienen una forma regular y que la más cercana a su forma es la circular o redonda. Según Fonseca, Huarachi, Chura, & Cotrado (2008), mencionan que para la elaboración de tunta existen tres categorías para clasificar el tamaño del tubérculo de papa, si son redondos: El pequeño tiene un diámetro menor a 3.9 cm, el mediano tiene un diámetro de 3.9 cm a 5.1 cm y el grande tiene un diámetro mayor a 5.1 cm. Entonces se puede decir que las papas seleccionadas en esta investigación para el



proceso de congelación, se encuentran dentro de los parámetros para la producción de tunta.

En el Anexo 6 (Tablas 11 y 12), se muestran los controles de volumen y peso con un promedio de 60.11 ml y 46.45 g en la variedad Yana Imilla, 63.89 ml y 51.47 g en la variedad Parko chasca y 61.11 ml y 48.18 g en la variedad Ccompis, respectivamente. Según Cahuana, Condori, & Flores (2011), menciona que para la clasificación de tubérculos de papa por su peso, ya sea para su procesamiento o de consumo en fresco, existen categorías: Extra con un peso mayor a 121 g y primera de 91 a 120 g, destinados para la venta en el mercado, segunda 61 a 90 g y tercera 31 a 60 g, procesamiento y transformación (elaboración de tunta); esto nos da a entender que para la producción de tunta, las papas seleccionadas para el proceso de congelación están dentro de los parámetros, específicamente en la tercera categoría.

4.1.2. Evaluación de las propiedades de congelación

4.1.2.1. Evaluación de la curva de congelación

Para la evaluación de las propiedades de congelación se registró la evolución de las temperaturas de congelación en el centro térmico en cada una de las tres variedades de papa estudiadas: Yana Imilla, Parko Chasca y Ccompis, el registro se llevó a cabo cada 5 segundos, hasta llegar a la temperatura deseada en el centro térmico de la papa -5°C , -10°C y -15°C , estos datos Tiempo - Temperatura se encuentran en el Anexo 3, 4 y 5; mientras que sus curvas de congelación, se encuentran en las Figuras 15, 16 y 17, en donde se observa que las tres variedades de papa tienden a



tener un comportamiento similar, más no igual respecto a las tres temperaturas estudiadas en esta investigación. Según Della-Rocca, Roche, & Mascheroni (2013), este comportamiento en las curvas de congelación de los tubérculos de papa se debe a su contenido de humedad en cada una de estas, ya que en su estudio mencionan que las papas frescas con un 84 % de humedad tardaron más en alcanzar la temperatura de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ en su centro térmico, que las papas tratadas por: Osmodeshidratación, Escaldado – Secado en Microondas y Osmodeshidratación – Secado en Microondas, las cuales tuvieron 61 a 48 % de humedad. Por otro lado Hernández (2016), menciona que las curvas de congelación dependen de la “forma geométrica” empleada para el estudio de la papa a congelar, ya que en su investigación se utilizó cubos (1 x 1 x 1 cm), bastones (1 x 1 x 7 cm) y hojuelas (5 cm de diámetro y espesor de 0.2 cm), se congelaron durante 180 min a temperaturas de: $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$; cada experimento presentó diferente comportamiento a través del proceso de congelación, a la vez recalca tener un buen control de temperaturas tanto interna y externa, para obtener una curva de congelación en donde se aprecie mejor la evolución de la temperatura de congelación. Esto es respaldado por McMeekin, Oiley, Ross, & Ratkowsky (1993), quienes refieren que para el estudio de un proceso de congelación de una materia prima, es necesario tener un buen sistema de adquisición de datos de la mano de un buen proceso de registro en tiempo real, estos dos últimos nos permiten obtener unas curvas peculiares en este caso “Curvas de congelación”, con un error mínimo, permitiendo identificar el inicio de congelación y a la par determinar el tiempo de congelación mediante su gráfico.

Figura 15

Curva de tiempo - temperatura durante el proceso de congelación Yana Imilla

YANA IMILLA

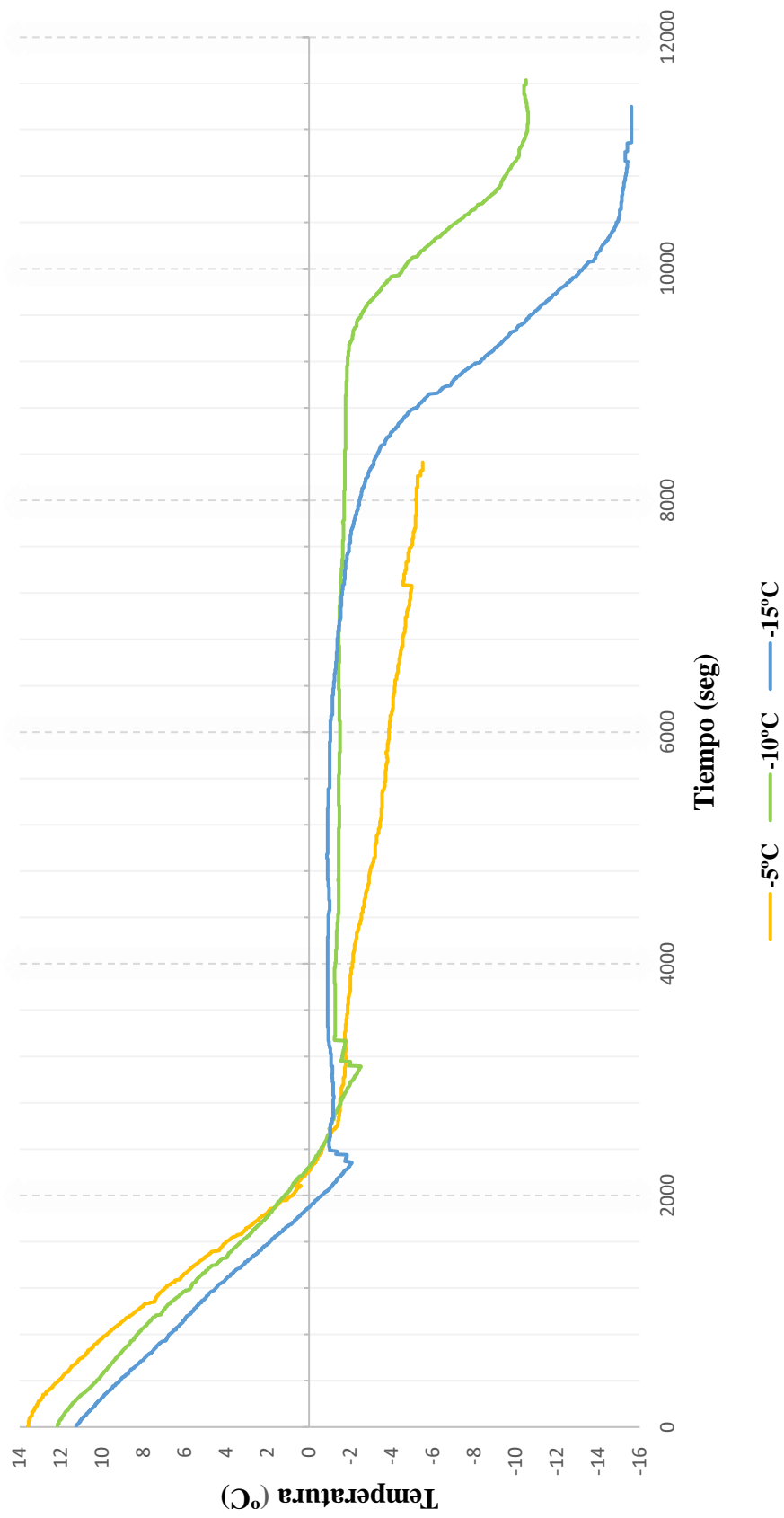


Figura 16

Curva de tiempo - temperatura durante el proceso de congelación Parko Chasca

PARKO CHASCA

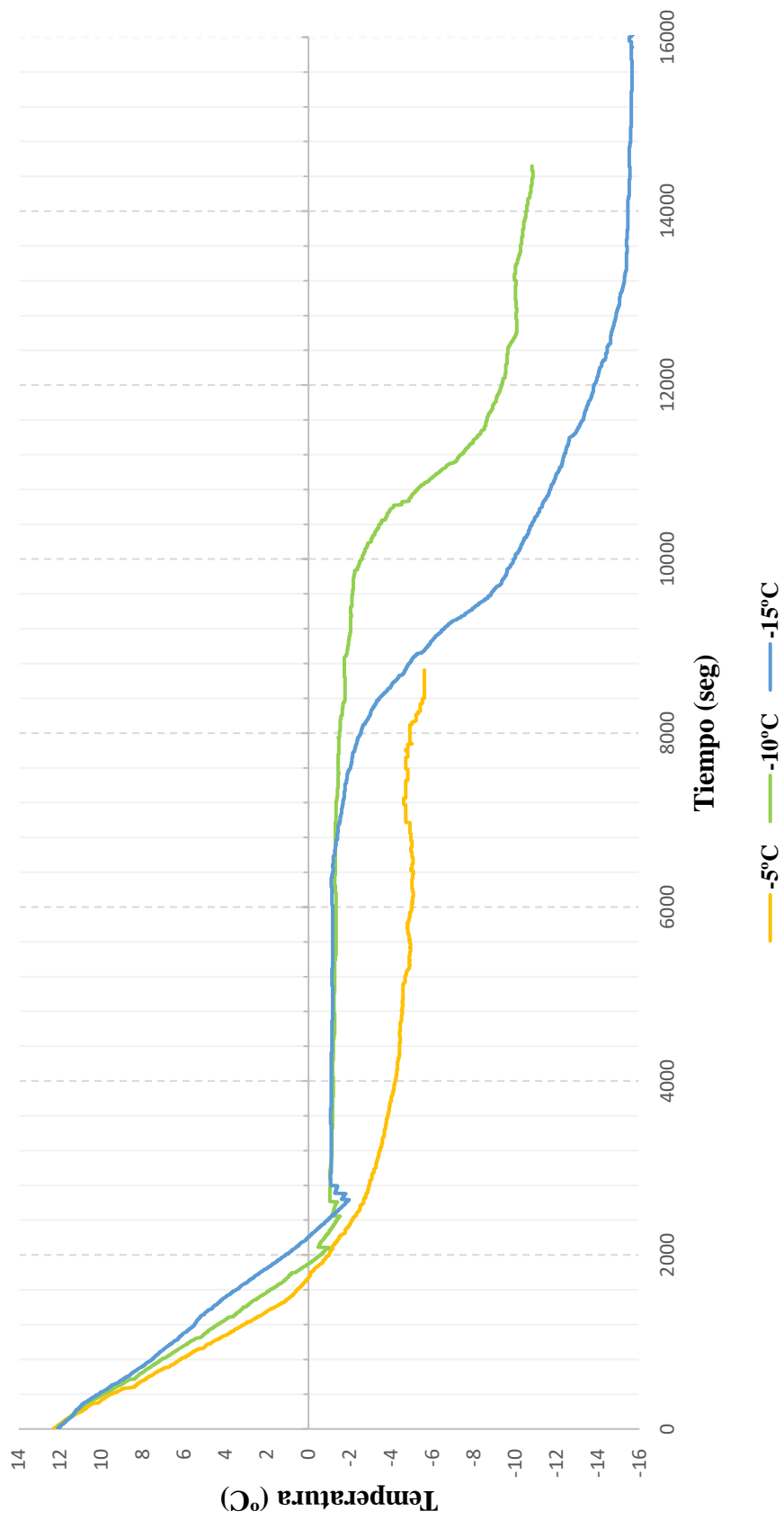
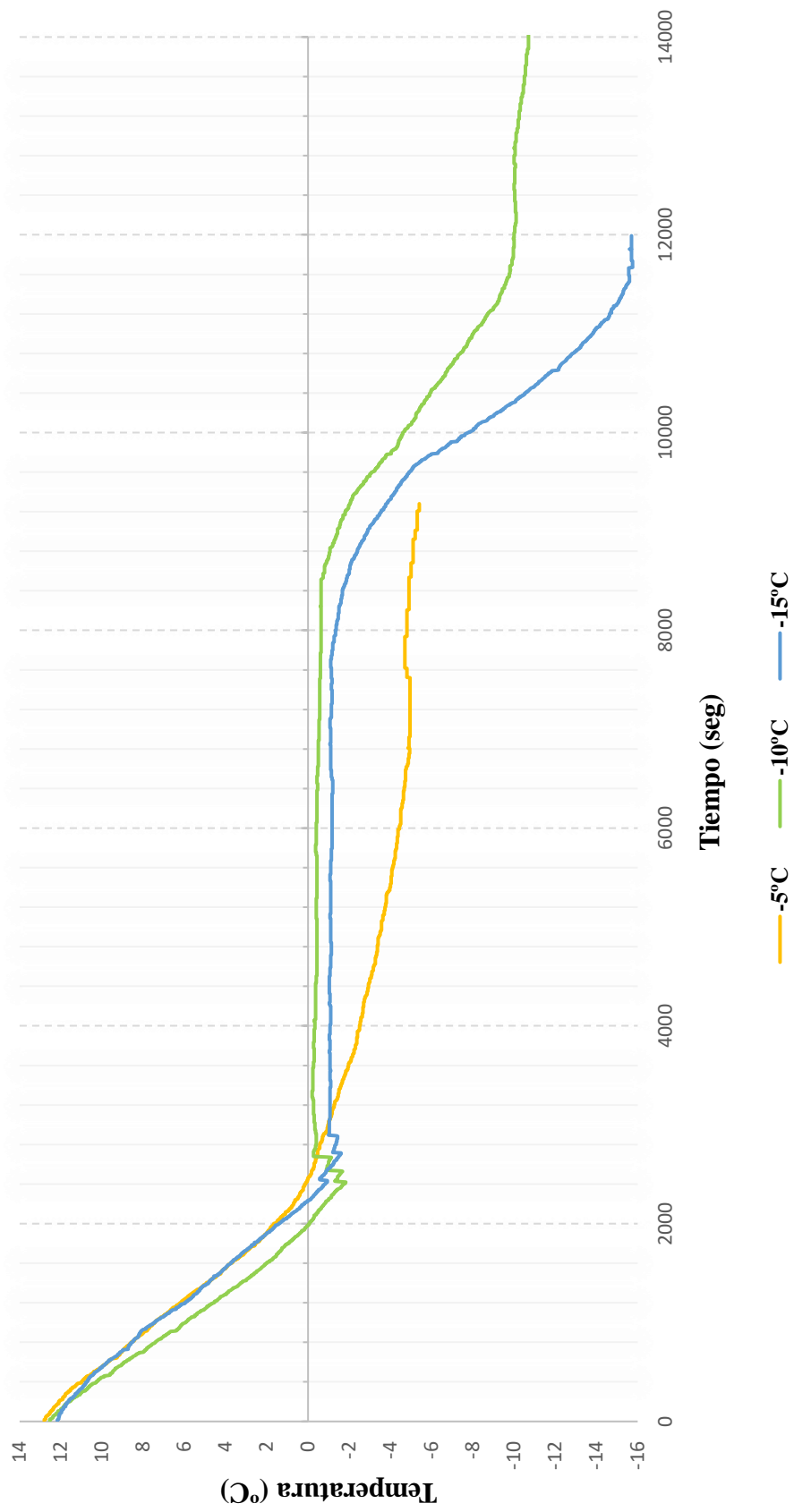


Figura 17

Curva de tiempo - temperatura durante el proceso de congelación Ccompis

CCOMPIS



4.1.2.2. Evaluación del tiempo, velocidad y temperatura de inicio de congelación

En la Tabla 7, se presentan los promedios de los experimentos con sus respectivas desviaciones estándar, para ver a detalle cada uno de los cambios ocurridos en el tiempo de congelación (t_{cong}), velocidad de congelación (V_{cong}) y la temperatura de inicio de congelación (T_i).

Tabla 7

Promedio de los parámetros del proceso de congelación

Variedad	T (°C)	t_{cong} (min.)	V_{cong} (°C/seg)	T_i (°C)
Yana Imilla	-5	122,34 ± 7,94	-0,0009333 ± 0,0001247	---
	-10	182,36 ± 1,20	-0,0000867 ± 0,0000801	-1,233 ± 0,205
	-15	175,28 ± 3,44	-0,0000367 ± 0,0000205	-1,033 ± 0,125
Parko Chasca	-5	112,92 ± 16,41	-0,0003333 ± 0,0001247	---
	-10	211,22 ± 16,59	-0,0000923 ± 0,0000804	-1,033 ± 0,189
	-15	213,22 ± 4,91	-0,0000243 ± 0,0000236	-1,067 ± 0,125
Ccompis	-5	121,22 ± 17,33	-0,000567 ± 0,000309	----
	-10	205,08 ± 14,29	-0,00007 ± 0,0000356	-1,133 ± 0,205
	-15	187,33 ± 2,22	-0,0000240 ± 0,0000161	-1 ± 0,141

Nota: T_i = Temperatura de inicio de congelación, t_{cong} = Tiempo de congelación y V_{cong} = Velocidad de congelación.

4.1.2.2.1. Evaluación del tiempo de congelación

En el Anexo 9 (Tabla 16), se muestra el análisis de varianza (ANOVA), con un 95.0 % de nivel de confianza para la evaluación del tiempo de congelación, en donde se revela que, si existe diferencia significativa ($P \leq 0.05$) para los factores variedad y temperatura de



congelación. Esto quiere decir que estos factores son independientes con respecto al parámetro de las propiedades de congelación: Tiempo de congelación. Por lo tanto, se realizó la prueba de comparación múltiple Duncan para su corroboración de las diferencias estadísticas para los experimentos.

En el Anexo 9 (Tabla 17), se muestra el análisis de comparación múltiple de Duncan para el parámetro variedad, al 5 % de nivel de significancia, presentando 192,3876 error y 18 grados de libertad. Donde se aprecia que el factor variedad, si presenta diferencias significativas en el tiempo de congelación, dividiéndose en dos grupos con una formación análoga. La variedad Parko Chasca es la que se tomó más tiempo en llegar a la temperatura de congelación estudiada, seguida de Ccompis y Yana Imilla, esta última es la que tuvo una mejor respuesta en el tiempo de congelación.

En el Anexo 9 (Tabla 18), se muestra el análisis de comparación múltiple de Duncan para el parámetro temperatura, al 5 % de nivel de significancia, presentando 192,3876 error y 18 grados de libertad. Donde se aprecia que el factor temperatura, si presenta diferencias altamente significativas en el tiempo de congelación, dividiéndose en dos grupos donde las temperaturas de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ reaccionan en las variedades de forma similar y son diferentes a la temperatura de $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

En la Tabla 7, se observan que los tiempos de congelación en las tres variedades de papa estudiadas, varían 112.92 ± 7.94 min (Parko Chasca) a 122.34 ± 7.94 min (Yana Imilla) a $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 182.36 ± 1.20 min (Yana



Imilla) a 211.22 ± 16.59 min (Parko Chasca) a -10 °C y 175.28 ± 3.44 min (Yana Imilla) a 213.22 ± 4.91 min (Parko Chasca) a -15 °C., dependiendo a la temperatura de congelación empleada (-5 °C, -10 °C y -15 °C). En el Anexo 9 (Tablas 17 y 18), podemos observar una diferencia significativa de las medias que agrupa a la variedad Parko Chasca 179.12A y Ccompis 171.21A en un mismo bloque diferenciada del bloque Yana Imilla 159.99B, mientras se observa una alta diferenciación entre Parko Chasca, que le tomo más tiempo congelarse y Yana Imilla que congelo más rápido en las temperaturas de -10 °C y -15 °C. En todos los experimentos se puede notar una diferencia significativa, con respecto a su variedad y a su temperatura de congelación estudiada, esta diferencia en su tiempo posiblemente se deba a su velocidad de congelación, la cantidad de calor a extraer (Temperatura inicial del tubérculo de papa), temperatura del medio de congelación (Las temperaturas estudiadas: -5 °C, -10 °C y -15 °C), forma, variedad, dimensiones inclusive la cantidad y profundidad de las yemas (ojos o cejas) de los tubérculos de papa. Esto es corroborado por Carrasco, Colonia, Burgos, & López (2019) quienes mencionan que al congelar cubitos de papa a una temperatura de -24 °C, el tiempo de congelación fue de 0.3747h (22.482 min), el tiempo de congelación es más corto ya que se trata de cubos de 2.5 x 2.5 x 2.5 cm. Según Gómez, Cerón, Rodríguez, & Vázquez (2007) mencionan que el tiempo de congelación varía principalmente dependiendo a las características del alimento, variedad (conductividad térmica), dimensión y la temperatura inicial. Esto es corroborado por INIA (2009), que menciona que la variedad de papa Yana Imilla presenta una profundidad alta en sus yemas, más que la



variedad Ccompis y Parko Chasca, estas últimas tienen una cantidad y profundidad baja; posiblemente a esto se debería a que la variedad Yana Imilla se haya congelado más rápido. Estos tiempos de congelación se pueden predecir mediante parámetros relevantes como las geometrías regulares y multidimensionales, caso contrario sucede en esta investigación, ya que las papas no tienen una forma regular, más bien todo lo contrario tienen formas únicas y peculiares, por se usó el método Canny para la clasificación y selección por tamaño en papas. Tal es el caso de Carranza de la Torre (1999) que menciona que para la evaluación del tiempo de congelación utilizó las papas como puré, la temperatura de congelación fue de $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$ en placas con un espesor de 50mm, el tiempo de congelación experimental fue de 74 min y el teórico fue de 80 min, la diferencia no es mucha, ya que tiene un margen de error mínimo.

4.1.2.2.2. Evaluación de la velocidad de congelación

En el Anexo 10 (Tabla 19), se muestra el análisis de varianza (ANOVA), con un 95.0 % de nivel de confianza para la evaluación de la velocidad de congelación, en donde se revela que, si existe diferencia significativa ($P \leq 0.05$) para los factores variedad y temperatura de congelación. Esto quiere decir que estos factores son independientes con respecto al parámetro de velocidad de congelación. Por lo tanto, se realizó la prueba de comparación múltiple Duncan para su corroboración de las diferencias estadísticas para los experimentos.

En el Anexo 10 (Tabla 20), se muestra el análisis de comparación múltiple de Duncan para el parámetro variedad, al 5 % de nivel de



significancia, presentando 0,0000 error y 18 grados de libertad. Donde se aprecia que el factor variedad, si presentan diferencias significativas en la velocidad de congelación, dividiéndose en dos grupos donde la variedad Parko Chasca mantiene una velocidad más alta, mientras que la variedad Yana Imilla una más baja. la variedad Ccompis pertenece a ambos grupos con una formación análoga.

En el Anexo 10 (Tabla 21), se muestra el análisis de comparación múltiple de Duncan para el parámetro temperatura, al 5 % de nivel de significancia, presentando 0,0000 error y 18 grados de libertad. Donde se aprecia que el factor temperatura, si presenta diferencias significativas en la velocidad de congelación, dividiéndose en dos grupos donde las temperaturas de -15 °C y -10 °C tuvieron una alta velocidad de congelación diferente a -5 °C con una formación análoga.

En el Anexo 7 (Tabla 13), se observan que las velocidades de congelación varían de $0,0009333\pm 0,0001247$ °C/seg (Yana Imilla) a $0,0003333\pm 0,0001247$ °C/seg (Parko Chasca) a -5°C, $0,0000923\pm 0,0000804$ °C/seg (Parko Chasca) a $0,00007\pm 0,0000356$ °C/seg (Ccompis) a -10°C y $0,0000367\pm 0,0000205$ °C/seg (Yana Imilla) a $0,0000240\pm 0,0000161$ °C/seg (Ccompis) a -15°C, dependiendo a la temperatura de congelación empleada (-5 °C, -10 °C y -15 °C). En el Anexo 10 (Tablas 20 y 21), podemos observar que si existe una diferencia significativa de sus medias agrupándola en dos grupos a las variedades Parko Chasca -1,5E-04A, Ccompis -2,2E-04AB y Yana Imilla -3,5E-04B, lo mismo sucede en las temperaturas estudiadas si existe una ligera



diferencia significativa en sus medias agrupando a $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ en un mismo bloque diferenciada del bloque $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esto se debe a que la temperatura de $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ no fue muy baja y llegó con mucha simplicidad a esa temperatura en el centro térmico, caso similar sucede al aplicar la temperatura de $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, ya que, al ser una temperatura alta, llegó con facilidad a su centro térmico. Según Carrasco, Colonia, Burgos, & López (2019) mencionan en su investigación que la papa fresca cortada en cubitos se congeló a una temperatura de $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$, en comparación a los cubos de carne de res que se congelaron a una temperatura de $-30.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, esta diferencia se debe a que la papa contiene un bajo contenido de humedad y una estructura más firme, a su vez mencionan que la velocidad de congelación depende básicamente de la temperatura de congelación. Esto es respaldado por Rivera, Herrera, & Rodríguez (2003) los cuales mencionan que la velocidad de congelación (IQF) en papas precocidas (2.5 - 4.5 cm diámetros) fue de 0.74 cm/h; descendiendo la temperatura externa de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ en 2.5 min y 35 min para congelar hasta el centro térmico, manteniendo una temperatura de $-22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3$. A su vez Bosco, Roche, Della Rocca, & Mascheroni (2018) mencionan que al congelar cubos de batatas frescos y batatas pretratadas por deshidratación osmótica de 1 cm de arista, mediante un túnel con circulación forzada de aire a $-31.5 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (congelación rápida), lograron congelar ambas batatas hasta llegar a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ en su centro en un tiempo de 17 y 14 min respectivamente, esta diferencia se debe al contenido de agua existente en cada una de las muestras de batatas, la primera tiene un contenido de humedad de 73% mientras que la última un 43%, ya que paso por un proceso de



deshidratación osmótica. Esto quiere decir que la temperatura de congelación y la humedad o contenido de agua influye en la velocidad de congelación de papas frescas.

4.1.2.2.3. Evaluación de la temperatura de inicio de congelación

En el Anexo 11 (Tabla 22), se muestra el análisis de varianza (ANOVA), con un 95.0 % de nivel de confianza para la evaluación de la temperatura de inicio de congelación, en donde se revela que, si existe diferencia significativa ($P \leq 0.05$) para los factores variedad y temperatura de congelación. Esto quiere decir que estos factores son independientes con respecto al parámetro del inicio de congelación. Por lo tanto, se realizó la prueba de comparación múltiple Duncan para su corroboración de las diferencias estadísticas para los experimentos.

En el Anexo 11 (Tabla 23), se muestra el análisis de comparación múltiple de Duncan para el parámetro variedad, al 5 % de nivel de significancia, presentando 0,0428 error y 12 grados de libertad. Donde se aprecia que el factor variedad, no presentan diferencias significativas en la temperatura de inicio de congelación, es decir que la variación de la temperatura de inicio de congelación, varía simultáneamente a las temperaturas de congelación de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, en cada una de las variedades. Donde se aprecia que la variedad Parko Chasca tiene un mejor resultado en el inicio de la temperatura de congelación seguido de Ccompis y Yana Imilla.



En el Anexo 11 (Tabla 24), se muestra el análisis de comparación múltiple de Duncan para el parámetro temperatura, al 5 % de nivel de significancia, presentando 0,0428 error y 12 grados de libertad. Donde se aprecia que el factor temperatura no presenta diferencias significativas en la temperatura de inicio de congelación, es decir que la variación de la temperatura de inicio de congelación, varía simultáneamente en cada una de las tres variedades de tubérculos de papa a las temperaturas de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Donde se aprecia que a $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ su temperatura de inicio de congelación se lleva a cabo antes que a una temperatura de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

En el Anexo 7 (Tabla 13), se observa que las temperaturas de inicio de congelación oscilan entre $-1,033\pm 0,189\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Parko Chasca) a $-1,233\pm 0,205\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Yana Imilla) a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-1\pm 0,141\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Ccompis) a $-1,067\pm 0,125\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Parko Chasca) a $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, dependiendo de la temperatura de congelación ($-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$) y su variedad. En el Anexo 11 (Tablas 23 y 24), podemos observar una ligera y simultánea diferencia significativa de las medias que las agrupa en un solo bloque Parko Chasca -1.05A, Ccompis -1.07A y Yana Imilla -1.13A, lo mismo sucede con las temperaturas estudiadas no existe una ligera diferencia significativa en sus medias agrupando a $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ en un mismo bloque. Según Boydston, Seymour, & Brown (2006), mencionan que la temperatura de inicio de congelación en tubérculos de papa fue de $-1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$; el proceso de congelación lo realizaron en suelos húmedos, en donde se enterraron las papas a 5 cm de profundidad, ya que había más probabilidad de que se experimente temperaturas frías de $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$, durante un periodo de 24 horas. Según Della-Rocca, Roche, & Mascheroni (2013), mencionan que



la temperatura de inicio de congelación para papas crudas fue de $-1.27\text{ }^{\circ}\text{C}$, antes del proceso de congelación se sometieron las papas a pretratamientos, con el fin de reducir el tiempo de congelación. Este aumento en la temperatura de inicio de congelación es explicado en la investigación de Coronado, Mendieta, & Kleeberg (1993), en donde congelaron parte del músculo de camarón gigante de Malasia y de ello se pudo apreciar que la temperatura de inicio de congelación aumenta al disminuir el contenido de humedad. La temperatura de inicio de congelación fue de $-1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a una humedad de 78.6% del músculo de camarón gigante. Esto explicaría la razón por la que no existe una diferencia significativa entre las medias tanto en variedad como en temperatura, ya que no se aplicó pretratamientos, para reducir la humedad, se trata del mismo vegetal.

4.2. DETERMINACIÓN DE LA TEXTURA, COLOR Y MICROESTRUCTURA (PARED CELULAR) EN TRES VARIEDADES DE PAPA (YANA IMILLA, PARKO CHASCA Y CCOMPIS) DESCONGELADAS, SOMETIDAS A TRES TEMPERATURAS DE CONGELACIÓN (-5°C , -10°C Y -15°C)

Para realizar la evaluación de las propiedades fisicoquímicas, los tubérculos de papa congelados se procedieron a descongelar a una temperatura ambiente, por un periodo de 16 horas, en una base de mayólica.

4.2.1. Evaluación textura

La evaluación de textura se realizó al finalizar el proceso de descongelación, en base al estándar de la papa fresca mediante una evaluación en

un texturómetro obteniendo el parámetro de textura firmeza, para cada uno de los experimentos que se presentan en el Anexo 8 (Tabla 14). Los valores estándar para cada variedad de papa antes del proceso de congelación fueron: Yana Imilla 42,81, Parko Chasca 42,49 y Ccompis: 44,01.

Tabla 8

Promedio del parámetro de textura: Firmeza

Variedad	T (°C)	Firmeza (N)
<i>Yana Imilla</i>	-5	41,39 ± 1,0016
	-10	38,43 ± 0,3643
	-15	35,90 ± 0,6308
<i>Parko Chasca</i>	-5	40,73 ± 1,2467
	-10	36,83 ± 1,0378
	-15	35,68 ± 0,9091
<i>Ccompis</i>	-5	43,16 ± 1,2075
	-10	37,88 ± 0,3911
	-15	35,35 ± 0,8943

En el Anexo 12 (Tabla 25), se muestra el análisis de varianza (ANOVA), con un 95.0 % de nivel de confianza para la evaluación en la variación del parámetro firmeza, en donde se revela que, si existe diferencia significativa ($P \leq 0.05$) para los factores variedad y temperatura de congelación. Esto quiere decir que estos factores son independientes con respecto al parámetro de firmeza. Por lo tanto, se realizó la prueba de comparación múltiple Duncan para su corroboración de las diferencias estadísticas para los experimentos.

En el Anexo 12 (Tabla 26), se muestra el análisis de comparación múltiple de Duncan para el parámetro variedad, al 5 % de nivel de significancia,



presentando 3,6904 error y 18 grados de libertad. Donde se aprecia que el factor variedad, no presentan diferencias significativas en la firmeza, es decir que la variación de firmeza, varía simultáneamente en cada una de tres temperaturas de congelación dependiendo de su variedad. Siendo Ccompis la que presenta una mejor firmeza seguido de Parko Chasca y Yana Imilla.

En el Anexo 12 (Tabla 27), se muestra el análisis de comparación múltiple de Duncan para el parámetro temperatura, al 5 % de nivel de significancia, presentando 3,6904 error y 18 grados de libertad. Donde se aprecia que el factor temperatura, si presenta diferencias significativas en su firmeza, dividiéndose en tres grupos de tratamiento con una formación casi análoga. Siendo la temperatura de -5°C la que conserva mejor la firmeza similar a la papa fresca estándar, seguido de -10°C y -15°C .

En el Anexo 8 (Tabla 14), se observa que los valores en general en el parámetro de firmeza varían de 34.27 a 44.15 dependiendo a la temperatura de congelación y variedad de papa. En el Anexo 12 (Tabla 26 y 27), podemos observar que no existe una diferencia de medias en el parámetro de textura según su variedad puesto a que cada una actúa independientemente a su variedad y al parecer varían simultáneamente y casi análogamente. Caso contrario sucede en el parámetro de firmeza según la temperatura, en donde se observa que sus medias tienen una diferencia significativa en las temperaturas de congelación empleadas, se agrupan en tres bloques -5°C con 41.76A, -10°C con 37.71B y -15°C con 35.64C. Esto quiere decir que las temperaturas de congelación tienen efectos diferentes en los tejidos y pared celular en los tubérculos de papa, ocasionando la pérdida de firmeza, esto se ve reflejado sobre todo en la temperatura de -15°C en



cada una de las tres variedades de papa estudiadas. Un caso similar sucede en una investigación realizada por Talens, Martínez-Navarrete, Fito, & Chiralt (2002) que registraron un comportamiento similar en kiwis, ya que por el proceso de congelación hubo cambios notables en su textura: firmeza, esto debido a su alto contenido de humedad 93 %. Según Umaña (2011) esto se debe a la habilidad de producirse los cristales de hielo en una estructura muy rígida como las presentes en vegetales y frutas, daña con mucha facilidad su estructura interna, incluso más que en la de un tejido de origen animal: carnes. El aguante de diferentes tejidos ya sean de origen vegetal o animal ante un proceso de congelación es muy variada. Esto es corroborado también por Lamua (2000) que menciona que el proceso de congelación aplicado de una forma adecuada, da como resultado alimentos casi similares, la única diferencia solo se ve en su textura.

4.2.2. Evaluación de color en a^* , b^* , L, YI y ΔE .

La medición de color se realizó al finalizar el proceso de descongelación, en base al estándar de la papa fresca por medio de la metodología expuesta en la sección 3.5.2.4. obteniéndose los parámetros de color a^* , b^* , L, YI (Índice de Amarillez) y ΔE (Variación total de color), para cada uno de los experimentos que se presentan en el Anexo 8. Los valores estándar en cada variedad de papa antes del proceso de congelación fueron: Yana Imilla: $a^* = 3.6$ y $b^* = 15.3$ y $L = 70.6$; Parko Chasca: $a^* = 3.4$, $b^* = 25.4$ y $L = 58.7$; y Ccompis: $a^* = 4.3$, $b^* = 17.8$ y $L = 65$.

Tabla 9

Promedios de los parámetros de color a, b*, L, YI y ΔE*

Variedad	T (°C)	a*	b*	L	YI	ΔE
<i>Yana Imilla</i>	-5	3,39 ± 0,52	15,20 ± 2,93	63,87 ± 6,34	33,72 ± 3,24	9,16 ± 3,27
	-10	4,43 ± 1,67	13,53 ± 2,21	67,80 ± 5,87	28,36 ± 2,65	5,91 ± 4,34
	-15	4,07 ± 0,40	16,57 ± 0,62	71,38 ± 1,86	32,99 ± 1,91	2,66 ± 0,49
<i>Parko Chasca</i>	-5	3,53 ± 0,82	23,90 ± 1,12	60,00 ± 8,66	58,37 ± 10,23	7,87 ± 4,36
	-10	2,70 ± 0,49	23,83 ± 3,22	65,83 ± 3,30	51,53 ± 4,94	8,55 ± 1,51
	-15	5,03 ± 1,51	19,57 ± 6,22	56,27 ± 5,10	50,39 ± 16,38	9,23 ± 4,94
<i>Ccompis</i>	-5	3,13 ± 0,34	19,13 ± 3,29	70,37 ± 1,64	38,83 ± 6,52	6,51 ± 1,79
	-10	5,00 ± 0,22	16,30 ± 0,94	66,80 ± 4,89	35,02 ± 2,94	5,41 ± 1,26
	-15	5,20 ± 1,34	18,23 ± 0,94	66,30 ± 4,45	39,32 ± 1,29	4,69 ± 1,80

Nota: YI = Índice de Amarillez, ΔE = Variación de color total.



4.2.2.1. Evaluación de color a*

En el Anexo 13 (Tabla 28), se muestra el análisis de varianza (ANOVA), con un 95.0 % de nivel de confianza para la evaluación en la variación del parámetro de color a*, en donde se revela que, si existe diferencia significativa ($P \leq 0.05$) para los factores variedad, temperatura de congelación y su interacción. Esto quiere decir que estos factores son independientes con respecto al parámetro de color a*. Por lo tanto, se realizó la prueba de comparación múltiple Duncan para su corroboración de las diferencias estadísticas para los experimentos.

En el Anexo 13 (Tabla 29), se muestra el análisis de comparación múltiple de Duncan para el parámetro variedad, al 5 % de nivel de significancia, presentando 1,4000 error y 18 grados de libertad. Donde se aprecia que el factor variedad, no presenta diferencias significativas en el parámetro de color a*, es decir que la variación de color a*, varía simultáneamente en cada una de las temperaturas de congelación empleadas.

En el Anexo 13 (Tabla 30), se muestra el análisis de comparación múltiple de Duncan para el parámetro variedad, al 5 % de nivel de significancia, presentando 1,4000 error y 18 grados de libertad. Donde se aprecia que el factor temperatura, si presenta diferencias significativas en el parámetro de color a*, dividiéndose en dos grupos de tratamiento con una formación análoga.



En el Anexo 8 (Tabla 15), se observa que los valores en general de a^* varían de 6.8 a 2.1, dependiendo de temperatura de congelación y variedad de papa. En el Anexo 13 (Tabla 29 y 30), podemos observar que si existe una diferencia significativa en la temperatura de congelación en especial entre las temperaturas de $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ agrupando 4.77A a $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, 4.04AB a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 3.53B a $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que según su variedad no existe una diferencia significativa sino simultanea entre las medias de las variedades de Ccompis con 4.44A, Yana Imilla con 4.14A y Parko Chasca con 3.76A. Según Alva, Ramírez, & Siche (2015) menciona que la variación del factor de color a^* , con una tendencia a ser más alta representa pardeamiento enzimático o una reacción de Maillard. Esto es corroborado por Hernández (2016) quien también menciona que el aumento del parámetro de color a^* varía de acuerdo al pardeamiento enzimático, en su investigación se revelo que no existe una diferencia significativa entre los valores de a^* de las muestras congeladas y la papa fresca a las temperaturas estudiadas ($-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$), ya sea sin/con el pretratamiento en ácido cítrico, puesto que tampoco presentaron diferencias. Por otro lado Cabrera (2019) en su investigación menciona que los valores de a^* en la variedad de papa Duraznillo sometida a diferentes temperaturas, varia de -0.104 ± 0.441 ($-18\text{ }^{\circ}\text{C}$), -0.302 ± 0.403 ($-20\text{ }^{\circ}\text{C}$), $-0,082 \pm 0.189$ ($-22\text{ }^{\circ}\text{C}$) y 0.141 ± 0.855 ($-24\text{ }^{\circ}\text{C}$), la variedad Qayma Marcela varia de -0.985 ± 0.750 ($-18\text{ }^{\circ}\text{C}$), -1.377 ± 0.203 (-20°C), -0.970 ± 0.591 ($-22\text{ }^{\circ}\text{C}$) y -1.309 ± 1.070 ($-24\text{ }^{\circ}\text{C}$), mientras que en la variedad Luqui Morada -0.985 ± 0.501 (-18°C), -1.378 ± 0.203 (-20°C), -0.970 ± 0.591 (-22°C) y -1.309 ± 1.007 (-24°C), estos cambios se ven influenciados muy significativamente por la



temperatura y por la variedad de papa que utilizados. Mientras que Quispe, Betalleluz, Vargas, & Velezmoro (2018) mencionan en su investigación que al congelar papa cocidas/prensadas a -24°C , aumentaron la tendencia hacia un color rojo en la variedad Tumbay $a^*= 3.12$ y la variedad peruanita $a^*= -2.56$, a comparación con las muestras frescas de papa, la diferencia fue mínimo. A comparación con la investigación que realice no se realizó cortes a los tubérculos de papa, se congelaron y descongelaron tal cual con su epidermis (piel), por ende, no existió pardeamiento enzimático, que nos conlleva a que no haya diferencias significativas en el parámetro de color a^* , según su temperatura; en cambio según su variedad cabe la posibilidad de que exista una diferencia significativa, ya que se trata de tres variedades de papa diferentes que tienen características propias.

4.2.2.2. Evaluación de color b^*

En el Anexo 14 (Tabla 31), se muestra el análisis de varianza (ANOVA), con un 95.0% de nivel de confianza para la evaluación en la variación del parámetro de color b^* , en donde se revela que, si existe diferencia significativa ($P \leq 0.05$) para el factor variedad. Esto quiere decir que este factor es independiente con respecto al parámetro de color b^* . Por lo tanto, se realizó la prueba de comparación múltiple Duncan para su corroboración de las diferencias estadísticas para los experimentos.

En el Anexo 14 (Tabla 32), se muestra el análisis de comparación múltiple de Duncan para el parámetro variedad, al 5% de nivel de significancia, presentando 12,7967 error y 18 grados de libertad. Donde se aprecia que el factor temperatura, no presenta diferencias significativas, en



el parámetro de color b^* , es decir que la variación de color a^* , varía simultáneamente en cada una de las temperaturas de congelación estudiadas.

En el Anexo 8 (Tabla 15), se observa que los valores en general de b^* varían de 27.5 a 10.08, dependiendo de temperatura de congelación y variedad de papa. En el Anexo 14 (Tabla 32), podemos observar que las medias de las temperaturas se encuentran agrupadas en el mismo bloque a la temperatura de -5°C con 19.41A, -15°C con 18.12A y -10°C con 17.89A. En todos los experimentos se puede notar una diferencia significativa, con respecto a los valores estándar en cada una de las tres variedades de tubérculos de papa estudiados. Según Cabrera (2019) en su investigación menciona que los valores de b en la variedad de papa Duraznillo sometida a varios procesos de congelación a diferentes temperaturas, varía de 0.086 (-18°C) a 0.152 (-24°C) mientras que en la variedad Qayma Marcela varía de 4.841 (-18°C) a 7.009 (-24°C), estos cambios se ven influenciados por la temperatura de congelación aplicada. Esto es corroborado por Bartolomé (1996), el cual reporta un ligero cambio en el parámetro de color b , en el proceso de congelación de velocidad lenta realizado en piñas, este cambio se debió principalmente al efecto en la desintegración celular, degradación de pigmentos e isomerización de los carotenoides, este último responsable de la coloración amarilla. De lo anterior se resalta que los carotenoides son los responsables del color amarillo en algunos alimentos, esto es respaldado también por Burgos (2013), los cuales mencionan que los carotenoides en la papa son los responsables del color amarillo en su pulpa.



4.2.2.3. Evaluación de color L

En el Anexo 15 (Tabla 33), se muestra el análisis de varianza (ANOVA), con un 95.0% de nivel de confianza para la evaluación en la variación del parámetro de color L, en donde se revela que, si existe diferencia significativa ($P \leq 0.05$) para el factor variedad. Esto quiere decir que este factor es independiente con respecto al parámetro de color L. Por lo tanto, se realizó la prueba de comparación múltiple Duncan para su corroboración de las diferencias estadísticas para los experimentos.

En el Anexo 15 (Tabla 34), se muestra el análisis de comparación múltiple de Duncan para el parámetro variedad, al 5% de nivel de significancia, presentando 39,4056 error y 18 grados de libertad. Donde se aprecia que el factor temperatura, si presentan diferencias significativas en el parámetro de color L, dividiéndose en dos grupos con una formación análoga, donde Yana Imilla y Ccompis son diferentes a Parko Chasca.

En el Anexo 8 (Tabla 15), se observa que el mayor valor de L se presenta en la variedad Yana Imilla y el menor en la variedad Parko Chasca, los valores en general de L varían de 73.9 a 52.3, dependiendo de la temperatura de congelación y variedad de papa. En el Anexo 15 (Tabla 34), podemos observar una diferencia de medias que agrupa a la variedad Yana Imilla con 67,03A y a la variedad Ccompis con 67,03A en el mismo bloque, diferenciándola de la variedad Parko Chasca con 60,70B. En todos los experimentos se puede notar una diferencia significativa, con respecto a los valores estándar en cada una de las tres variedades de tubérculos de papa estudiados, que no es percibido a simple vista por el ojo humano, si



no se realiza la ecuación 1, que lo representa mediante datos según la variación de esta. Según Falade & Akinpelu (2015) menciona que el cambio de color del factor L, se ve influenciado por los cambios que presentan el hierro y el calcio, ya que estos se oxidan una vez al estar expuestos al ambiente en el que se encuentren los tubérculos de papa. Esto es respaldado por Hernández (2016) que menciona que existió una diferencia significativa en la luminosidad de la papa congelada con respecto a la luminosidad del producto inicial, debido al incremento del 57% de este, su experimentación se basó en la congelación de cubos (1x1x1 cm), bastones (1x1x7 cm) y hojuelas (5cm diámetro x 0,2 cm espesor) de papa sometidos a las temperaturas de congelación de -5 °C, -10 °C y -15 °C, sin y con tratamientos (NaCl 0.5% y ácido cítrico monohidratado 1%), previo a este proceso y en donde los únicos experimentos que no mostraron diferencia significativa fueron la forma de bastones con y sin pretratamientos a -5°C, la forma de hojuela con pretratamiento a -5°C y sin pretratamiento a -15°C. También menciona que este incremento de L, se debe a la atribución de la formación de los cristales de hielo y esto es más notable en este parámetro L, que a la par influirá en la ΔE . Esto quiere decir que mientras la temperatura de congelación sea más alta y la muestra a congelar se pequeña el parámetro L se incrementara aún más. Esto es corroborado por Cabrera (2019) quien menciona que las papas nativas estudiadas en su investigación a diferentes temperaturas de congelación influyeron en el color de los tubérculos de papas congeladas, en especial recalca que si hubo una variación en el factor de color L, en el proceso de congelación sometidas a las temperaturas de:



-18°C, -20°C, -22°C y -24°C, en tres variedades de papa: Qayma Marcela, Duraznillo y Luqui Morada, con valores de 77.60, 78.81 y 75.77 a -18°C, 66.48, 76.49 y 74.60 a -20°C, 65.35, 76.15 y 71.19 a -22°C, 76.33, 79.64 y 81.03 a -24°C, respectivamente, esto debido a la pigmentación propias y características de las diversas variedades de papas nativas.

4.2.2.4. Evaluación de ΔE

En el Anexo 16 (Tabla 35), se muestra el análisis de varianza (ANOVA), con un 95.0% de nivel de confianza para la evaluación en la variación del parámetro de color ΔE , en donde se revela que, si existe diferencia significativa ($P \leq 0.05$) para los factores variedad y temperatura. Esto quiere decir que estos factores son independientes con respecto al parámetro de color ΔE . Por lo tanto, se realizó la prueba de comparación múltiple Duncan para su corroboración de las diferencias estadísticas para los experimentos.

En el Anexo 16 (Tabla 36), se muestra el análisis de comparación múltiple de Duncan para el parámetro variedad, al 5% de nivel de significancia, presentando 13,9295 error y 18 grados de libertad. Donde se aprecia que el factor variedad, no presenta diferencias significativas en el parámetro de color ΔE (Variación total de color), es decir que la variación de color ΔE , varía simultáneamente en cada una de las temperaturas de congelación empleadas. Siendo Parko Chasca la de mayor variación de color.



En el Anexo 16 (Tabla 37), se muestra el análisis de comparación múltiple de Duncan para el parámetro variedad, al 5% de nivel de significancia, presentando 13,9295 error y 18 grados de libertad. Donde se aprecia que el factor temperatura, no presenta diferencias significativas en el parámetro de color ΔE (Variación total de color), es decir que la variación de color ΔE , varía simultáneamente en cada una de las variedades estudiadas.

En el Anexo 8 (Tabla 15), se observa que el mayor valor de ΔE se presenta en la variedad Parko Chasca a -15°C , los valores en general de ΔE varían de 13.71 a 2.06, dependiendo de temperatura de congelación y variedad de papa. En el Anexo 16 (Tablas 36 y 37), podemos observar que si existe una diferencia significativa simultanea entre las medias de las variedades de Parko Chasca 8.55A, Yana Imilla con 5.91A y Ccompis con 5.54A. Al igual que -5°C con 7.84A, -10°C con 6.62A y -15°C con 5.53A. Estos resultados son menores a los reportados por Ramírez, Cañizares, & Acevedo (2011) 45.8 a 9.4, estas diferencias de ΔE , puede deberse a la acción de los pretratamientos empleados con desecantes como cloruro de calcio y silicagel, aplicados con el fin de mantener la humedad relativa baja y reducir el tiempo crio-desección atmosférica, de la variedad de papa utilizado en este caso ellos utilizaron variedad Gabriela y Chaucha. Según Quispe, Betalleluz, Vargas, & Velezmoro (2018) indican que su menor cambio de color fue en la variedad Amarilla Tumbay con 7.02 y el mayor fue en la variedad Peruanita con 8.46, por los cambios visto es los parámetros de color a^* , b^* y L , los mismos que se utilizaron para efectuar la ecuación (1).



4.2.2.5. Evaluación del Índice de Amarillez (YI)

En el Anexo 17 (Tabla 38), se muestra el análisis de varianza (ANOVA), con un 95.0% de nivel de confianza para la evaluación en la variación del parámetro de color YI, en donde se revela que, si existe diferencia significativa ($P \leq 0.05$) para el factor variedad y temperatura. Esto quiere decir que estos factores son independientes con respecto al parámetro de color YI (Índice de Amarillez). Por lo tanto, se realizó la prueba de comparación múltiple Duncan para su corroboración de las diferencias estadísticas para los experimentos.

En el Anexo 17 (Tabla 39), se muestra el análisis de comparación múltiple de Duncan para el parámetro variedad, al 5% de nivel de significancia, presentando 78,5820 error y 18 grados de libertad. Donde se aprecia que el factor variedad, si presentan diferencias significativas en el parámetro de color YI (Índice de amarillez), dividiéndose en dos grupos con una formación análoga. Siendo Parko Chasca con un mejor grado de amarillez, diferenciado de Ccompis y Yana Imilla.

En el Anexo 17 (Tabla 40), se muestra el análisis de comparación múltiple de Duncan para el parámetro temperatura, al 5% de nivel de significancia, presentando 78,5820 error y 18 grados de libertad. Donde se aprecia que el factor temperatura, no presentan diferencias significativas en el parámetro de color YI (Índice de amarillez), es decir que la variación de color YI, varía simultáneamente en cada una de las temperaturas de congelación empleadas.



En el Anexo 8 (Tabla 15), se observa que los valores de YI varían 25.93 a 68.56, los mayores valores de YI se presentan en la variedad Parko Chasca, dependiendo de temperatura de congelación y variedad de papa. En el Anexo 17 (Tablas 39 y 40), podemos observar que si existe una diferencia significativa simultanea que agrupa las medias de las variedades de Parko Chasca 53.54A y Ccompis con 37.72B diferenciándola de Yana Imilla con 31.69B. Según Ramírez, Cañizares, & Acevedo (2011) mencionan en su investigación que mientras más alto sean los valores calculados de YI, tienden a ser los más cercanos al amarillo ideal. Esto es respaldado por Fernández, Álvarez, & Canet (2008) quienes mencionan que la intensidad de color amarillo YI, se puede considerar como un parámetro representativo de color en tubérculos de papa y sus derivados. Además, mencionan que la principal diferencia de YI, se debe a la variedad de papa utilizada como materia prima, en su caso ellos utilizaron la variedad Kennebec en donde el YI promedio fue de 27.95 ± 0.33 . Por debajo a los obtenidos en esta investigación puesto a que los valores obtenidos varían de 28.36 a 58.37 dependiendo a la variedad, en el Anexo 17 (Tabla 39), podemos observar esta diferencia de lo que mencionan estos autores la temperatura de -5°C tiene una media de 43.64A con una notable diferencia a la media de -15°C 40.90A y -10°C 38.30A. En cambio, en el Anexo 17 (Tabla 40), podemos observar que las temperaturas de congelación no afectaron significativamente al índice de Amarillez, en cada una de las variedades estudiadas, caso contrario a lo reportado por Quispe, Betalleluz, Vargas, & Velezmoro (2018) que mencionan que YI vario significativamente descendiendo, esto debido a que las temperaturas

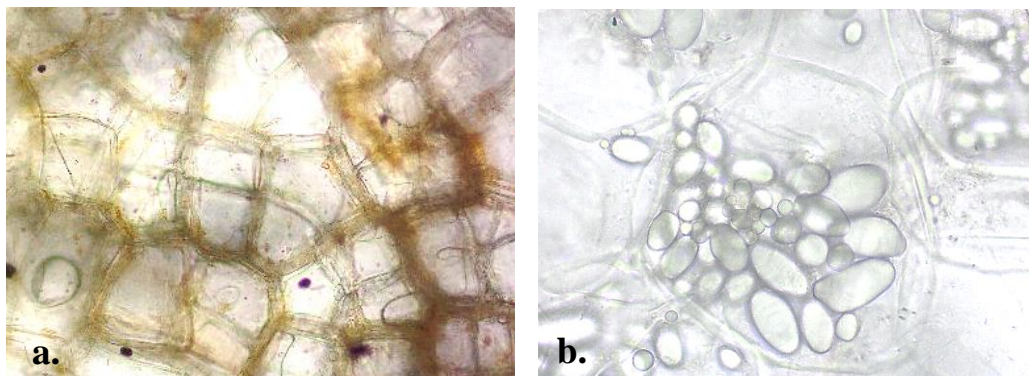
de congelación que aplicaron fueron mayores a -18°C durante 16 semanas, en papas cocidas sin pelar.

4.2.3. Evaluación de la microestructura

En la Figura 22, se observa las micrografías (a) papa fresca, es una micrografía tomada de la zona de su cascara de la papa variedad Parko chasca, a simple vista esta tiende a tener un color amarillo, de ahí el color característico de esta micrografía. (b) es una micrografía tomada de la pulpa del tubérculo de papa variedad Parko chasca, lo que se observa es una célula de parénquima, su pared celular, dentro de ella en forma ovalada algunos almidones.

Figura 18

Micrografía del peridermis y médula de la papa

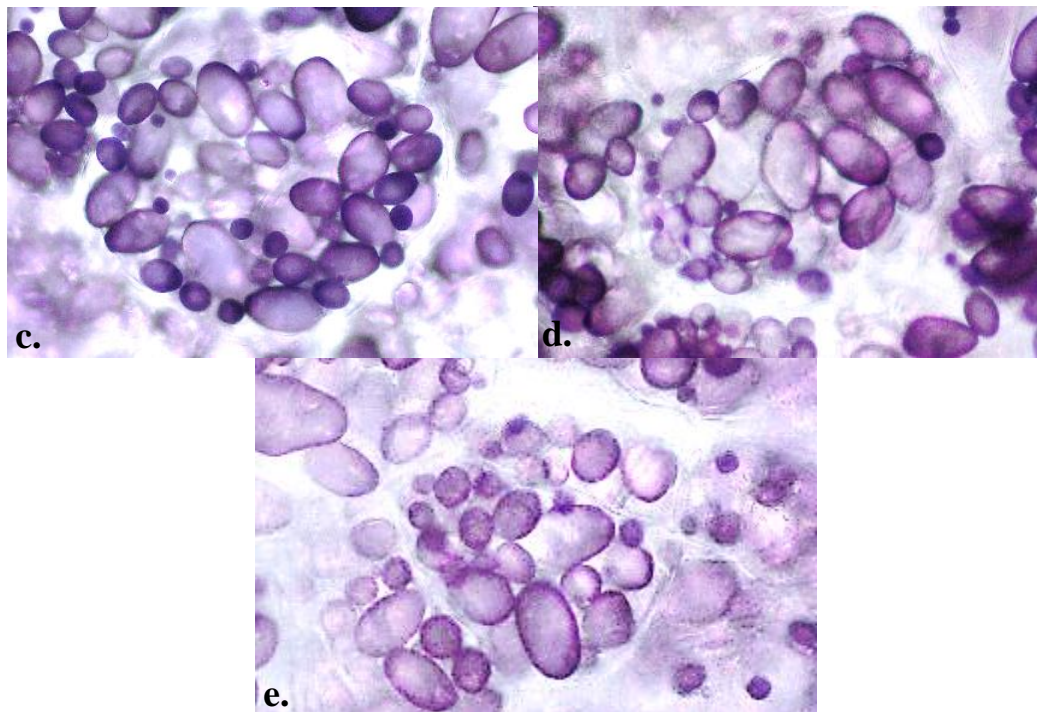


Según Segnini (2000) en su estudio sobre la microestructura de la papa, menciona que la piel o capa exterior es llamada peridermis y que debajo de esta se encuentra una capa aún más delgada llamada tejido parenquimático, en donde se pueden visualizar una cantidad numerosa de gránulos de ovalados y redondos de almidón con unas dimensiones mayores de entre $146 * 189 \text{ J.Lm}$, tal cual como se observa en la Figura 22 (b). También podemos observar que se encuentran agrupadas entre sí, seguidas unas de otras como si estuvieran entrelazadas de esta

fenómeno habla Della Rocca, Gutierrez, Languasco, & Mascheroni (2010), en su investigación sobre la microestructura de papa fresca, menciona que observó que la mayoría de las paredes celulares de los tejidos celulares tenían la forma: hexagonal, poligonal y pentagonal; y que estos a su vez tenían un gran número de amiloplastos en su interior. Esto es confirmado por Machuca & Pinedo (2012), en su investigación en donde mencionan que las células de parénquima reúnen un contenido de gránulos de almidón, que en la mayoría de los casos tienen una forma redondeada y ovalada. Si se quisiera conservar los tejidos celulares Sun & Li (2003) recomiendan un tratamiento de ultrasonido previo a la congelación en su investigación para una mejor conservación de las paredes celulares.

Figura 19

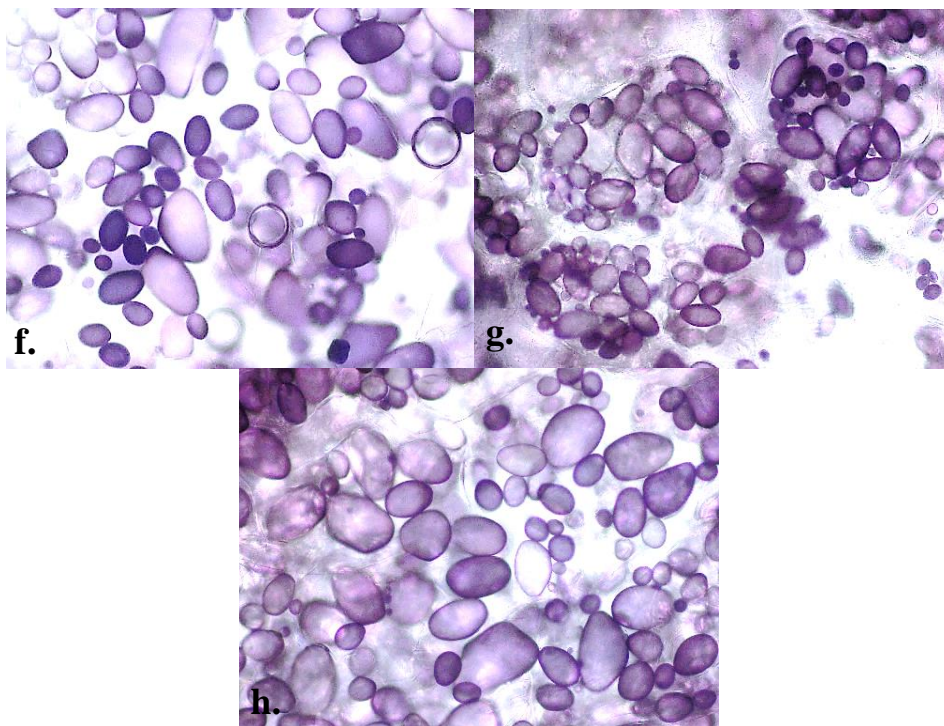
Micrografías de papa entera cruda congelada (c) Yana Imilla, (d) Parko Chasca y (e) Ccompis a -5 °C



En la Figura 23 se muestran las micrografías de la papa fresca sometidas a un proceso de congelación a $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, en (c) Yana Imilla, (d) Parko Chasca y (e) Ccompis, se observan las células hinchadas, con presencia de amiloplastos (Almidón) que dan forma a una pared celular firme y rígida,

Figura 20

Micrografías de papa entera cruda congelada (f) Yana Imilla, (g) Parko Chasca y (h) Ccompis a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$

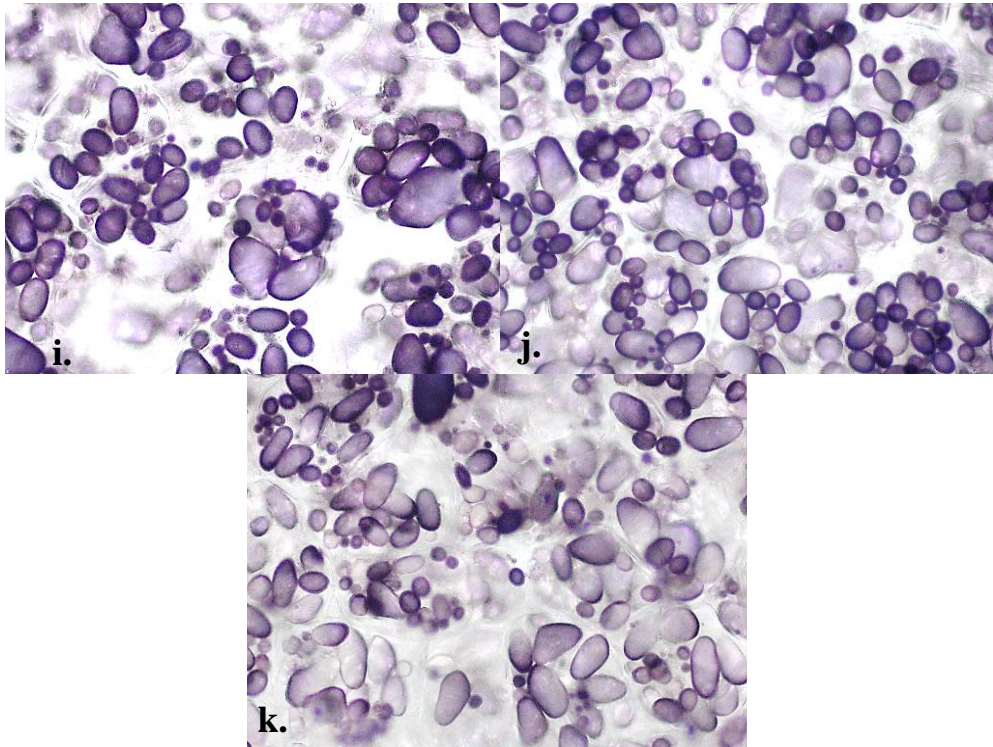


En la Figura 24 se muestran las micrografías de la papa fresca sometidas a un proceso de congelación a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, en (f) Yana Imilla, (g) Parko Chasca y (h) Ccompis se observa que unas cuantas células se deformaron y la pared celular de algunas se rompieron a causa de los hielos de cristales formados por la presencia de agua en la célula, también se observa que parte de los amiloplastos que se encontraban dentro de la célula, ahora se encuentran afuera combinándose con los

amiloplastos de otras células que de igual manera tienen la pared celular rota, a excepción de la Parko Chasca.

Figura 21

Micrografías de papa entera cruda congelada (i) Yana Imilla, (j) Parko Chasca y (k) Ccompis a -15 °C



En la Figura 25 se muestran las micrografías de la papa fresca sometidas a un proceso de congelación a -15 °C, en (i) Yana Imilla, (j) Parko Chasca y (k) Ccompis; en las tres variedades estudiadas no existe una alta diferencia en cuanto al efecto de la temperatura de congelación a -15 °C, se observan que una cantidad más grande de células se encuentran deformadas, con una pared celular rota, que no se encuentra del todo firme y los amiloplastos están libres. Se observa también una distorsión gradual en la forma de las células.

Estos cambios en la microestructura luego del proceso de congelación sometidos a las temperaturas de -5 °C, -10 °C y -15 °C, se ven reflejados también



en los cambios de la textura. Estas observaciones son respaldadas por Shi & LeMaguer (2002), Los cuales mencionan que los componentes que forman parte de la estructura celular (pared, plasmalema y tonoplasto) se deforman a una deshidratación o una ruptura del citoplasma y vacuolas, en donde se pierde parte del líquido intracelular, en este caso al descongelarse. Según Mauro, Tavares, & Menegalli (2002), menciona que esta deformación se debe a que la célula paso de un estado firme (papa fresca), a una de un máximo volumen (papa congelada) y a un mínimo volumen (papa descongelada), normalmente después del proceso sufrido las paredes celulares se relajan. Según Ramallo & Mascheroni (2009) mencionan que en su investigación en congelación de piñas pre deshidratadas a -30 ± 2 °C, la pérdida de turgencia del tejido vegetal se debió al contenido de humedad y a la temperatura empleada. Esto es respaldado por Chiralt, y otros (2001) que además mencionan que en la forma en la que se encuentran ensambladas las células afectaran al tejido celular (pared celular).



V. CONCLUSIONES

- La variedad de papa y la temperatura de congelación afectó sobre la curva de congelación, el tiempo, la velocidad y la temperatura de inicio de congelación. La variedad Yana Imilla sometida a una temperatura congelación de -15°C presentó menor tiempo de congelación de 175.28 min con una velocidad de congelación de $-3.67 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{seg}$ y temperatura de inicio de congelación de $-1.033 \text{ }^{\circ}\text{C}$.
- La variedad de papa y temperatura de congelación afectó sobre la textura, el color y la microestructura. La variedad Parko Chasca sometida a -15°C presentó menor disminución de firmeza y variación de color total con valores de 35.68 N y 9.23 respectivamente. Sin embargo, a bajas temperaturas de congelación (congelación lenta) no se mantiene la microestructura dependiendo a la temperatura aplicada.



VI. RECOMENDACIONES

- Comparar con otros métodos de clasificación de tamaño y forma, para evaluar el más adecuado para el proceso de congelación en la producción de tunta.
- Comparar con diferentes métodos de congelación, para evaluar el tiempo, velocidad y temperatura de inicio de la congelación, así mismo para evaluar el color (a^* , b^* , L, YI “Índice de Amarillez” y ΔE “Variación de firmeza”) y microestructura.
- Comparar pruebas de congelación con diferentes variedades de tubérculos de papa destinados a la producción de tunta, para establecer los parámetros de congelación.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, M. (2012). *Métodos de conservación de alimentos*. México: Red Tercer Milenio.
- Alva, C., Ramírez, C., & Siche, R. (2015). Visión computacional en la evaluación del efecto de la temperatura y tiempo de fritura sobre el color de hojuelas de papa (*Solanum tuberosum*) nativa. *Agroindustrial Science*.
- Álvarez, M., & Canet, W. (1997). Effect of pre-cooling and freezing rate on mechanical strength of potato tissues (cv Monalisa) at freezing temperatures. *Zeitschrift fur Lebensmittel - Untersuchung und - Forschung*, 205(1):282:289.
- Alvarez, M., Canet, W., & López, M. (2002). *Influence of deformation rate and degree of compression on textural parameters of potato and apple tissues in texture profile analysis*. European food research and technology.
- Álvarez, M., 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.
- Álvarez, M., Morillo, M., & Canet, W. (1999). Optimisation of freezing process with pressure steaming of potato tissues (cv Monalisa). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79(1):1237-1248.
- Anderson, A. (1994). *Modelling of potato blanching*. Ph. D., Lund University Sweden.
- Añón, M., & Calvelo, A. (1980). *Freezing rates effects on the drip loss of frozen beef*. Meat Science.
- AOAC. (1990). Official Methods of Analysis. 14th Ed. S. Williams (ed.). *Association of Analytical Chemist. Washington, DC, USA*, 1141.
- AOAC. (2005). Official Methods of Analysis. 18th Edition. *Association of officiating Analytical Chemist. Washington, DC, USA*.



- Aquino, J. (2018). *Niveles de glicoalcaloides durante la elaboración del chuño negro a partir de la papa amarga Solanum juzepczukii y Solanum curtilobum*. Arequipa, Perú.
- Barreiro, J., & Sandoval, A. (2006). *Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas, 1ra Edición*. Venezuela: Equinoccio.
- Bevilacqua, A., & Zaritzky, N. (1980). *Ice morphology in frozen beef*. International Journal of Food Science & Technology.
- Bevilacqua, A., Zaritzky, N., & Calvelo, A. (1979). *Histological measurements of ice in frozen beef*. International Journal of Food Science & Technology.
- Bogh-Sorensen, L. (2006). *Recommendations for the Processing and Handling of Frozen Foods, 4° edition*. París, Francia: IIR.
- Bosco, D., Roche, L., Della Rocca, P., & Mascheroni, R. (2018). Osmodehydrofreezing of the sweet potato fortified with Zinc and Calcium. *INNOTECH, Laboratorio Tecnológico del Uruguay*, 23-31.
- Botta, J. (1991). *Instrument for non-destructive texture measurement of raw Atlantic cod (Gadus morhua) fillet*. J. Food Sci. 56, 962-964, 968.
- Bourne, M. (2002). *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement, 2 ed.* Academic press.
- Boydston, R., Seymour, M., & Brown, C. (2006). Comportamiento de congelación de tubérculos de papa (*Solanum tuberosum*) en el suelo. *Soy.J.Pot Res*, 83, 305-315.
- Buitrago, G., López, A., Coronado, A., & Osorno, F. (2004). *Determination of physical characteristics and mechanical properties of potatoes cultivated in Columbia*. Colombia: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.
- Burgos, G. (2013). Concentración y bioaccesibilidad de carotenoides y compuestos fenólicos en papas cocidas. *Departamento de Química Analítica, Nutrición y Bromatología*.



- C.I.P. (2008). *Guía de las buenas prácticas de procesamiento para la producción artesanal de la tunta*. Puno, Perú.
- C.I.P. (20 de Junio de 2008). *Papas Andinas*. Obtenido de International Potato Center: <http://www.papasandinas.org/mas4000.html>.
- C.I.P. (25 de Agosto de 2011). *Innovaciones promovidas por el CIP en el sector tunta generan impactos positivos en la seguridad alimentaria y generación de ingresos en Puno*. Obtenido de International Potato Center: <https://cipotato.org/es/sin-categorizar/innovaciones-promovidas-por-el-cip-en-el-sector-tunta-chuno-generan-impactos-positivos-en-la-seguridad-alimentaria-y-generacion-de-ingresos-en-puno/>
- C.I.P. (2015). *Procesamiento y usos de la papa. Centro Internacional de la papa*.
- Cabrera, S. (2019). *Efecto de la temperatura en el color de tres variedades de papas nativas (Solanum tuberosum), sometidas al proceso de congelación*. Apurímac, Perú.
- Cahuana, R., Condori, M., & Flores, P. (2011). *Cosecha, selección y clasificación de tubérculos de papa*. Puno, Perú: Revista Visión Agraria Año III Edición N° 11.
- Canny, J. (1986). *A Computational Approach to Edge Detection*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence.
- Carbonell, S., Oliveira, J., & Kelly, A. (2006). Effect of pretreatments and freezing rate on the firmness of potato tissue after a freeze-thaw cycle. *International Journal of Food Science and Technology*, 41(1):757-767.
- Carranza de la Torre, R. (1999). Predicción del tiempo de congelación de alimentos con el método de Mannaperuma. *Ciencia y Desarrollo*, (6), 71-81.
- Carrasco, J., Colonia, J., Burgos, G., & López, J. (2019). *Velocidad de congelación y calidad*. Chimbote, Perú: Universidad Nacional de Santa. Agroindustrias.
- Ccallo, F. (2009). *Congelación y refrigeración de filetes de Trucha Arco Iris (Oncorhynchus mykiss) envasado al vacío*.



- Centro Internacional de la papa. (2014). *International Potato Center*. Obtenido de <http://cipotato.org>
- Ceroli, P. (2022). *Aplicación de tecnologías de obstáculos para mejorar la calidad y aumentar la vida útil de cubos de papa*. Buenos Aires, Argentina: Universidad Nacional de la plata.
- Chávez, R. (2019). *Sobre el origen, evolución y diversidad genética de la papa cultivada y la silvestre*. Tacna, Perú.
- Chiralt, A., Martínez-Navarrete, N., Martínez-Monzó, J., Talens, P., Moraga, G., Ayala, A., & Fito, p. (2001). Changes in mechanical properties throughout osmotic processes: Cryoprotectant effect . *Food Engineering*, 49(2-3): 129-135 .
- CONPAPA. (2015). *Confederación Nacional de Productores de papa de la República Mexicana*. México.
- Coronado, F., Mendieta, J., & Kleeberg, F. (1993). Estudio de las propiedades termofísicas de congelación de músculo de camaron gigante (*Macrobrachium rosenbergu*)n punto inicial de congelación y entalpia. *Folia Amazonica*, 1-2.
- Cuibus, L., Castro-Giráldez , M., Fito, P., & Fabbri, A. (2013). Application of infrared thermography and dielectric spectroscopy for controlling freezing process of raw potato. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 24(2014):80-87.
- Della Rocca, P., & Mascheroni, R. (2011). Deshidratación de papas por métodos combinados de secado: Deshidratación osmótica, secado por microondas y convección con aire caliente. *Proyecciones*, 9(2):11-26.
- Della Rocca, P., Gutierrez, M., Languasco, J., & Mascheroni, R. (2010). *Secado combinado de papas*. Proyecciones, Buenos Aires: FRBA 8(1).
- Della-Rocca, P., Roche, L., & Mascheroni, R. (2013). Estudio comparativo de la congelación de papa (*Solanum tuberosum* L.) sometida a diferentes pretratamientos. *Proyecciones*, 11(1):31-46.



- Deshpande, S., Cheryan, H., Sathe, S., Salunkhe, D., & Luh, B. (1984). *Freeze concentration of fruit juices*. CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition.
- Eguillor, J. (2016). *Evaluación de textura en patata mediante tecnología NIRS*. Navarra, España.
- Falade, K., & Akinpelu, S. (2015). Propiedades físicas funcionales, pastosas y térmicas de harinas y almidones en seis cultivares de arroz nigerianos. *Food Hydrocolloids*, 44: 478-490.
- FAOSTAT. (2018). *Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistical Divisions*. Database updated August 2018.
- Fennema, O. (2000). *Química de los alimentos (2ª ed.)*. España: Acribia S.A.
- Fennema, O., Powrie, W., & Marth, E. (1973). *Low-temperature preservation of foods and living matter*. Dekker, New York.
- Fernández. (2008). *Caracterización reológica y optimización de la textura de purés de patata frescos y congelados, efectos del proceso y adición de crioprotectores*. Madrid.
- Fernández, C., Álvarez, M., & 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*, 577-595.
- Fernández, C., Álvarez, M., & 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.
- Fernández, C., Canet, W., & Álvarez, M. (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*, 1373-1387.
- Fonseca, C., & Ordinola, M. (2011). *Mejorando la competitividad de la agroindustria rural: El caso de la tunta en el altiplano peruano*. Lima, Perú.



- Fonseca, C., Huarachi, E., & Ordinola, M. (2011). *Una experiencia de innovacion y difusion en la produccion artesanal de la papa deshidratada: Tunta*. Lima, Perú: Revista Latinoamericana de la Papa.
- Fonseca, Huarachi, E., Chura, W., & Cotrado, G. (2008). *Guia de las buenas prácticas de procesamiento para la producción artesanal de la tunta*. Puno, Perú.
- García, P., Bello, A., & Martínez, J. (2008). Textural properties of potatoes (*Solanum tuberosum* L., cv. Monalisa) as affected by different cooking processes. *Journal of Food Engineering*, 88(1), 28-35.
- García, R., & Santander, O. (2011). *Manual de manejo, selección y clasificación de papas nativas*. Puno, Perú: Dirección Regional Agraria.
- Gómez, A., Cerón, T., Rodríguez, V., & Vázquez, M. (2007). Aspectos tecnológicos de la congelación en alimentos. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos 1*, 80 - 96.
- Gonçalves, E., Pinheiro, J., Abreu, M., Brandão, T., & Silva, C. (2010). "Carrot (*Daucus carota* L.) peroxidase inactivation, phenolic content and physical changes kinetics due to blanching". *Journal of Food Engineering*.
- Gutiérrez, M. D., Castillo, O., Mendoza, J., & Rivera, J. A. (2021). *Detección de Variedades de Papa Usando Análisis de Imágenes*. Lima, Perú.
- Heldman, D. (1983). Factors influencing food freezing rates. *Food Technol*, 37(4), 103-109.
- Hernández, R. M. (2016). *Proceso de congelación y ultracongelación de papa (Solanum tuberosum)*. Veracruz, México.
- INEI. (2017). Producción de papa. *Instituto Nacional de Estadística e Informática*.
- INIA. (2002). *Papa Compendio de Información Técnica*. Lima, Perú: Dirección de Comunicaciones Técnicas.
- INIA. (2009). *Caracterización morfológica y agronomica de 61 variedades nativas de papa*. Lima, Perú.: Programa Nacional de Investigación en papa.



- Jiang, Z., Hirokazu, M., & Keiji, K. (1998). Simultaneous measurement of the position and shape of a swimming fish by combining a fringe pattern projection method with a laser scanning technique. *Opt. Eng*, Vol. 37 No. 5 1500-1504.
- Julca, B. (2016). *Impacto del gorgojo de los andes (Premnotrypes spp.) en la producción y comercialización del chuño blanco en las economías campesinas del departamento de Puno*. Lima, Perú.
- Kumar, S., Khade, H., Dhokane, V., Behere, A., & Sharma, A. (2007). Irradiation in Combination with Higher Storage Temperatures Maintains Chip-Making Quality of Potato. *Journal of Food Science*, 72(6), S402-S406.
- Lamua, M. (2000). *Aplicación del frío a los alimentos*. México: Ediciones Mundiprensa.
- Lewicki, P., & Pawlak, G. (2005). Effect of mode of drying on microstructure of potato. *Drying Technology*, 23(1):847-869.
- Lewicki, P., & Pawlak, P. (2005). Effect of osmotic dewatering on apple tissue structure. *Journal of Food Engineering*.
- Lozano, A., Jiménez, M., Regazzo, A., Urrea, G., & Luna, G. (2011). Fluidized bed drying process of thinly slices potato (*Solanum tuberosum*). *American Journal of Potato Research*, 88(1):360-366.
- Machuca, A. A., & Pinedo, M. (2012). *Estudio del efecto de la presión de vacío y el tipo de pretratamiento en la concentración media de bisulfito de sodio en papa (Solanum tuberosum) impregnada al vacío*. Chachapoyas, Perú.
- Mauro, M., Tavares, D., & Menegalli, F. (2002). Behavior of plant tissue in osmotic solutions. *Journal of Food Engineering*, 56: 1-15.
- McMeekin, T., Oiley, J., Ross, T., & Ratkowsky, D. (1993). *Predictive Microbiology: Theory and Application*. Taunton, England: Research Studies Press Ltd.
- Mendoza, R. (2012). *Evaluación de los procesos de precocción/congelación de tres presentaciones de papa criolla (Solamun tuberosum grupo phureja) variedad Colombia*. Bogotá, Colombia.



- MINAGRI. (2017). Papa: Características de la producción nacional y de la comercialización en lima metropolitana. *Ministerio de Agricultura y Riego*.
- MINAGRI. (30 de Mayo de 2018). *Radio Programas del Perú (RPP)*. Obtenido de Noticias: <https://rpp.pe/economia/economia/dia-nacional-de-la-papa-conoce-al-tuberculo-que-es-el-sustento-de-mas-de-700-mil-familias-noticia-1125971>
- MINAGRI. (29 de Mayo de 2020). *Instituto Nacional de Innovación Agraria*. Obtenido de Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego: <https://www.inia.gob.pe/2020-nota-071/>
- Mulisch, M., & Welsch, U. (2015). *Mikroskopische Technik*. Berlin: Auflage.
- Muñoz, A., Valdizán, J., Blanco, T., Gómez, J., & Alberto, L. (2018). *La papa, orgullo del Perú*. Lima, Perú: Universidad San Ignacio de Loyola.
- N.T.P. 011.400. (2007). *TÚBERCULOS PROCESADOS. Papa deshidratada. Tunta. Requisitos y definiciones*. Lima, Perú.
- Olivas, G., & Barbosa, G. (2004). *Water vapor permeability and mechanical properties as affected by plastizicer and relative humidity*. IFT Annual Meeting Technical Program Abstracts.
- Orrego. (2004). *Procesamiento de alimentos*. Colombia.
- Orrego. (2008). *Congelación y liofilización de alimentos*. Manizales, Colombia: Artes gráficas Tizan Ltda.
- Pastor, N. C. (2010). Recubrimientos comestibles a base de hidroxipropil metilcelulosa: caracterización y aplicación. *Departamento de Tecnología de Alimentos: Universidad Politecnica de Valencia, España*.
- Quispe, L. (2021). *Cambio de las características físicas en la papa amarilla (solanum goniocalyx) cocida y prensada durante su almacenamiento en congelación*. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Quispe, L., Betalleluz, I., Vargas, L., & Velezmoro, C. (2018). Stability of cooked pressed yellow potato (*Solanum goniocalyx*) in frozen storage. *Scientia Agropecuaria* , Vol. 9 no. 1.



- Ramallo, L., & Mascheroni, R. (2009). Efecto de la congelación sobre la calidad de ananá osmo-dehidratado. *Centro de Investigación y desarrollo en criotecnología de alimentos*.
- Ramírez, J., Cañizares, J., & Acevedo, D. (2011). Atmospheric freeze-drying of potato. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, pp 74-82.
- Ramírez, J., Cañizares, J., & Acevedo, D. (2011). Criodesecación atmosférica de la papa (*Solanum tuberosum*). *Revista de la facultad de Ingeniería de la Universidad Antioquia*, 61(1):74-82.
- Realpe, J. (2010). *Evaluación de la eficiencia de fungicidas protectantes y sistémicos para el control de tizón tardío (Phytophthora infestans) en el cultivo de la papa en San Pedro de huaca provincia del Carchi*. Ibarra, Ecuador: Universidad Técnica del Norte.
- Rivera, J., Herrera, A., & Rodríguez, L. (2003). Procesamiento de papa criolla precocida y congelación mediante la técnica de congelación individual (IQF), en seis genotipos promisorios de papa criolla (*Solanum phureja*). *Agronomía Colombiana*, Vol. 21, 95-101.
- Rodríguez, L. (2010). *Origen y evolución de la papa cultivada. Una revisión*. Bogotá, Colombia.
- Salvador, C. y. (2003). Efecto del quitosano aplicado como recubrimiento en mandarinas 'fortune'. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. *Revista Iberoamericana de Tecnología Poscosecha, ISSN. México*.
- Sánchez, K. (03 de Julio de 2021). *larepublica.pe*. Obtenido de <https://www.google.com/amp/s/larepublica.pe/amp/sociedad/2021/07/03/heladas-de-julio-son-aprovechadas-para-elaborar-chuño-en-puno-lrsd>
- Schneider, & Mazur. (1984). *Osmotic consequences of cryoprotectant permeability and its relation to the survival of frozen-thawed embryos*.
- Scott, G., Wong, D., Alvarez, M., & Tupac Yupanqui, A. (1992). *Papa Mezclas y cremas: Un estudio de caso del desarrollo de productos procesados de papa en*



- el Perú*. En G. e. Scott, Desarrollo de productos de raíces y tubérculos. Vol II América Latin.
- Segnini, S. (2000). Texture and color of potato products. *Thesis for the degree Doctor. Lund University, Department of Food Engineering.*
- Shi, J., & LeMaguer, M. (2002). Analogical cellular structure changes in solid-liquid contacting operations. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technolgie*, 35, 444-447.
- Sigurgisladottir, S., Hafsteinsson, H., Jonsson, A., Nortvedt, R., & Thomassen, M. (1999). "Textural Properties of Raw Salmon Fillets as Related to Sampling Method". *J. Food Sci.* Vol. 64 Pags.:99-104.
- Singh, J., Colussi, R., McCarthy, O., & Kaur, L. (2016). *Potato starch and its modification. In Advances in potato chemistry and technology.*
- Singh, R., & Heldman. (2000). *Introduction to Food Engineering, Third Edition, Academic Press.* London.
- SPDA, CCTA, INIA. (2015). *Los cultivos de la sierra y el cambio climatico andino: vulnerabilidad y fortalezas; siete casos de la sierra centro y sur del Perú.* Lima, Perú.
- Sun, D., & Li, B. (2003). Microstructural change of potato tissues frozen by ultrasound assisted immersion freezing. 337-345.
- Tablas Peruana de Composición de Alimentos, Ministerio de Salud, Instituto Nacional de Salud, Centro Nacional de Alimentación y Nutrición. (1996). *Ministerio de Salud, Instituto Nacional de Salud, Centro Nacional de Alimentación y Nutrición.* Lima, Perú.
- Talens, P., Martínez-Navarrete, N., Fito, P., & Chiralt, A. (2002). Cambios en las propiedades ópticas y mecanicas durante la osmodeshidrocongelación del Kiwi. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 3:191-199.
- Umaña, E. (2007). *Conservación de alimentos por frío, refrigeración/congelación.* El Salvador: Fiagro y fusades proinnova.
- Umaña, E. (2011). *Conservación de alimentos por frío.*



- Veland, J., & Torrissen, O. (1999). *The texture of atlantic salmon (Salmosalar) muscle as measured instrumentally using TPA and warner-bratzler shear test*. J Sci Food Agric 79:1737-1746.
- Vieira, C., Martinez, B., Diaz, M., & Garcia, M. (2004). *Efecto de la maduración y del periodo de conservación sobre la evolución de las características de la carne de vacuno*. Castilla, España: Instituto Tecnológico de agrario de Castilla y León.
- Vilca, R. (2013). *Evaluación del proceso de cocción de tres variedades de papa (Solanum tuberosum L.) peruana utilizando análisis de imágenes*. Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
- Zarlavsky, G., & Fabbri, L. (01 de Diciembre de 2009). *UBA AGRONOMIA, Facultade de Agronomía*. Obtenido de agro info, todo lo que pasa en FAUBA:
<https://www.agro.uba.ar/noticias/foto-del-mes-news/hoy-papas-con-lugol>

ANEXO

ANEXO 1: Constancia de certificación de semillas Yana Imilla.



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la unidad, paz y el desarrollo"

DIRECCIÓN DE INSUMOS AGROPECUARIOS E INOCUIDAD AGROALIMENTARIA

CONSTANCIA DE ORIGEN DE SEMILLAS

N° 007-2023-MIDAGRI-SENASA-PUNO

Consta por el presente que la semilla perteneciente a:

Nombre / Razón Social : INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACION AGRARIA - INIA
Expediente de Certificación : PUN-030-22
Domicilio legal : RINCONADA SALCEDO S/N
Lugar de Producción : ANEXO ILLPA - PUNO

Cultivo	PAPA
Cultivar	IMILLA NEGRA
Categoría	CERTIFICADA I
Área (has)	1.0
Volumen de semilla en acondicionamiento (Kg)	1665
Fecha de inspección en acondicionamiento	23-10-2023

Ha concluido satisfactoriamente la etapa de acondicionamiento del servicio de certificación de semillas de acuerdo a lo dispuesto en el Reglamento Técnico de Certificación de Semillas (D.S. N° 024-2005-AG) y Reglamento Específico de Semillas de papa, aprobada con DS N° 010-2018-MINAGRI.

Se expide el presente, para los fines pertinentes

07 de noviembre del 2023



El presente se emite únicamente con la finalidad de que el productor de semillas haga uso de sus propios lotes de semilla, como fuente de origen para la siguiente multiplicación bajo certificación

Jr. Moquegua N° 264 - Puno
Puno



ANEXO 2: Constancia de certificación de semillas Ccompis.



PERÚ
Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

SENASA
PERU

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la unidad, paz y el desarrollo"

DIRECCIÓN DE INSUMOS AGROPECUARIOS E INOCUIDAD
AGROALIMENTARIA

CONSTANCIA DE CERTIFICACIÓN DE SEMILLAS

N° 021-2023-MIDAGRI-SENASA-PUNO

Se certifica por el presente que la semilla perteneciente a:

Nombre / Razón Social : INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACION AGRARIA - INIA

RUC : 20131365994

Domicilio legal : Av. La Molina N° 1981- La Molina

Especie	Cultivar	Categoría	N° Lote
<i>Solanum tuberosum</i>	Ccompis	CERTIFICADA II	PUN-029-22
N° de envases	Peso (Kg) o N° Semillas / envase	Peso Total (kg)	Fecha de Etiquetado
34	50	1700	31/10/2023
1	17	17	31/10/2023
Numeración Del		Numeración Al	
0240052		0240086	

Ha concluido satisfactoriamente con el proceso de certificación de semillas de acuerdo a lo dispuesto en el Reglamento Técnico de Certificación de Semillas (D.S N° 024-2005-AG) y el Reglamento Específico de Semillas D.S. N° 010-2018-MINAGRI.

Validez de la certificación: 90 días, a partir de su etiquetado oficial, siempre y cuando la semilla se mantenga en adecuadas condiciones de almacenamiento y conserve las etiquetas de certificación.

Se expide el presente, para los fines pertinentes.

Puno, 09 de Noviembre del 2023



MINISTERIO DE DESARROLLO AGRARIO Y RIEGO
SERVICIO NACIONAL DE SANIDAD AGROPECUARIA
(DIRECCIÓN EJECUTIVA PUNO)
Juan Miguel Cutipa Luque
Ing. Juan Miguel Cutipa Luque
MSc. de Análisis de Injertos Agropecuarios

ANEXO 3: Registro de tiempo - temperatura de la congelación de los tubérculos de papa (Yana Imilla, Parko Chasca y Ccompis) a - 5°C.

Tiempo	YANA IMILLA				PARKO CHASKA				CCOMPIS					
	R1	R2	R3	Promedio de Temperatura	Tiempo	R1	R2	R3	Promedio de Temperatura	Tiempo	R1	R2	R3	Promedio de Temperatura
0	12,9	14,1	13,8	13,60	0	12,1	12,3	12,6	12,33	0	12,9	13,1	12,4	12,80
5	12,9	14,1	13,8	13,60	5	12	12,3	12,6	12,30	5	12,9	13,1	12,4	12,80
10	12,9	14,1	13,8	13,60	10	12	12,3	12,6	12,30	10	12,9	13,1	12,4	12,80
15	12,9	14,1	13,7	13,57	15	12	12,2	12,5	12,23	15	12,9	13,1	12,4	12,80
20	12,9	14,1	13,7	13,57	20	11,9	12,2	12,5	12,20	20	12,9	13,1	12,4	12,80
25	12,9	14,1	13,7	13,57	25	11,9	12,2	12,5	12,20	25	12,8	13,1	12,3	12,73
30	12,9	14,1	13,7	13,57	30	11,9	12,1	12,5	12,17	30	12,8	13,1	12,3	12,73
35	12,9	14,1	13,7	13,57	35	11,9	12,1	12,4	12,13	35	12,8	13,1	12,3	12,73
40	12,9	14,1	13,7	13,57	40	11,9	12,1	12,4	12,13	40	12,8	13,1	12,3	12,73
45	12,9	14,1	13,7	13,57	45	11,9	12	12,4	12,10	45	12,8	13,1	12,3	12,73
50	12,9	14,1	13,7	13,57	50	11,8	12	12,4	12,07	50	12,7	13,1	12,3	12,70
55	12,9	14,1	13,6	13,53	55	11,8	12	12,3	12,03	55	12,7	13,1	12,2	12,67
60	12,9	14,1	13,6	13,53	60	11,8	11,9	12,3	12,00	60	12,7	13,1	12,2	12,67
65	12,9	14,1	13,6	13,53	65	11,7	11,9	12,3	11,97	65	12,7	12,9	12,2	12,60
70	12,9	14,1	13,6	13,53	70	11,6	11,9	12,2	11,90	70	12,7	12,9	12,2	12,60
75	12,9	14,1	13,6	13,53	75	11,6	11,9	12,2	11,90	75	12,6	12,9	12,1	12,53
80	12,9	14	13,6	13,50	80	11,6	11,9	12,2	11,90	80	12,6	12,9	12,1	12,53
85	12,9	14	13,6	13,50	85	11,5	11,8	12,2	11,83	85	12,6	12,9	12,1	12,53
90	12,9	13,9	13,6	13,47	90	11,5	11,8	12,1	11,80	90	12,6	12,9	12,1	12,53
95	12,8	13,9	13,6	13,75	95	11,5	11,8	12,1	11,80	95	12,6	12,9	12,1	12,53
100	12,7	13,9	13,6	13,40	100	11,5	11,8	12,1	11,80	100	12,4	12,9	12,1	12,47
105	12,7	13,9	13,6	13,40	105	11,4	11,7	12,1	11,73	105	12,4	12,9	12,1	12,47
110	12,7	13,8	13,5	13,33	110	11,4	11,7	12	11,7	110	12,4	12,8	12	12,47

Tiempo	R1	R2	R3	Promedio de Temperatura	Tiempo	R1	R2	R3	Promedio de Temperatura	Tiempo	R1	R2	R3	Promedio de Temperatura
6765	-5,2	-4,1	-4,3	-4,53	5770	-4,7	-5	-4,7	-4,80	6125	-4,5	-4	-5	-4,50
6770	-5,2	-4,1	-4,3	-4,53	5775	-4,7	-5	-4,7	-4,80	6130	-4,5	-4	-5	-4,50
6775	-5,2	-4,1	-4,3	-4,53	5780	-4,7	-5	-4,7	-4,80	6135	-4,5	-4	-5	-4,50
6780	-5,2	-4,1	-4,3	-4,53	5785	-4,7	-5	-4,7	-4,80	6140	-4,5	-4	-5	-4,50
6785	-5,2	-4,1	-4,3	-4,53	5790	-4,7	-5	-4,7	-4,80	6145	-4,5	-4	-5	-4,50
6790	-5,2	-4,1	-4,3	-4,53	5795	-4,7	-5	-4,7	-4,80	6150	-4,5	-4	-5	-4,50
6795	-5,2	-4,1	-4,3	-4,53	5800	-4,7	-5	-4,7	-4,80	6155	-4,5	-4	-5	-4,50
6800	-5,2	-4,1	-4,3	-4,53	5805	-4,7	-5	-4,7	-4,80	6160	-4,5	-4	-5	-4,50
6805	-5,2	-4,1	-4,3	-4,53	5810	-4,7	-5	-4,6	-4,77	6165	-4,5	-4	-5	-4,50
6810	-5,2	-4,1	-4,3	-4,53	5815	-4,7	-5	-4,6	-4,77	6170	-4,5	-4	-5	-4,50
6815	-5,2	-4,1	-4,3	-4,53	5820	-4,7	-5,1	-4,6	-4,80	6175	-4,5	-4	-5	-4,50
6820	-5,2	-4,1	-4,3	-4,53	5825	-4,7	-5,1	-4,6	-4,80	6180	-4,5	-4	-5	-4,50
6825	-5,2	-4,1	-4,3	-4,53	5830	-4,8	-5,1	-4,6	-4,83	6185	-4,5	-4	-5	-4,50
6830	-5,3	-4,1	-4,3	-4,57	5835	-4,8	-5,1	-4,6	-4,83	6190	-4,5	-4	-5	-4,50
6835	-5,3	-4,1	-4,3	-4,57	5840	-4,8	-5,1	-4,6	-4,83	6195	-4,5	-4,1	-5	-4,53
6840	-5,3	-4,1	-4,3	-4,57	5845	-4,8	-5,1	-4,6	-4,83	6200	-4,5	-4,1	-5	-4,53
6845	-5,3	-4,1	-4,3	-4,57	5850	-4,8	-5,1	-4,7	-4,87	6205	-4,5	-4,1	-5	-4,53
6850	-5,3	-4,1	-4,4	-4,60	5855	-4,8	-5,1	-4,7	-4,87	6210	-4,5	-4,1	-5,1	-4,57
6855	-5,3	-4,1	-4,4	-4,60	5860	-4,8	-5,1	-4,7	-4,87	6215	-4,5	-4,1	-5,1	-4,57
6860	-5,3	-4,2	-4,4	-4,63	5865	-4,8	-5,1	-4,7	-4,87	6220	-4,5	-4,1	-5,1	-4,57
6865	-5,3	-4,2	-4,4	-4,63	5870	-4,8	-5,1	-4,7	-4,87	6225	-4,5	-4,1	-5,1	-4,57
6870	-5,3	-4,2	-4,4	-4,63	5875	-4,8	-5,1	-4,7	-4,87	6230	-4,5	-4,1	-5,1	-4,57
6875	-5,3	-4,2	-4,4	-4,63	5880	-4,8	-5,1	-4,7	-4,87	6235	-4,5	-4,1	-5,1	-4,57
6880	-5,3	-4,2	-4,4	-4,63	5885	-4,8	-5,1	-4,8	-4,90	6240	-4,5	-4,1	-5,1	-4,57
6885	-5,3	-4,2	-4,4	-4,63	5890	-4,8	-5,1	-4,8	-4,90	6245	-4,5	-4,1	-5,1	-4,57
6890	-5,3	-4,2	-4,4	-4,63	5895	-4,8	-5,1	-4,8	-4,90	6250	-4,5	-4,1	-5,1	-4,57
6895	-5,3	-4,2	-4,4	-4,63	5900	-4,8	-5,1	-4,8	-4,90	6255	-4,5	-4,2	-5,1	-4,60
6900	-5,3	-4,2	-4,4	-4,63	5905	-4,8	-5,1	-4,8	-4,90	6260	-4,5	-4,2	-5,1	-4,60

ANEXO 4: Registro de tiempo - temperatura del congelado de tubérculos de papa (Yana Imilla, Parko Chasca y Ccompis) a - 10°C.

YANA IMILLA				PARKO CHASKA				CCOMPIS						
Tiempo	R1	R2	R3	Promedio de Temperatura	Tiempo	R1	R2	R3	Promedio de Temperatura	Tiempo	R1	R2	R3	Promedio de Temperatura
0	11,9	12,2	12,4	12,17	0	12,2	11,8	12,4	12,13	0	12,3	12,7	12,6	12,53
5	11,9	12,2	12,4	12,17	5	12,2	11,8	12,4	12,13	5	12,3	12,7	12,6	12,53
10	11,9	12,2	12,4	12,17	10	12,2	11,7	12,4	12,10	10	12,3	12,7	12,6	12,53
15	11,9	12,2	12,4	12,17	15	12,2	11,7	12,4	12,10	15	12,3	12,7	12,6	12,53
20	11,9	12,2	12,4	12,17	20	12,2	11,7	12,4	12,10	20	12,3	12,7	12,6	12,53
25	11,9	12,2	12,4	12,17	25	12,2	11,7	12,4	12,10	25	12,3	12,7	12,5	12,50
30	11,8	12,1	12,4	12,10	30	12,2	11,6	12,4	12,07	30	12,2	12,6	12,5	12,43
35	11,8	12,1	12,4	12,10	35	12,1	11,6	12,3	12,00	35	12,2	12,6	12,4	12,40
40	11,8	12,1	12,4	12,10	40	12,1	11,6	12,3	12,00	40	12,2	12,6	12,4	12,40
45	11,8	12,1	12,4	12,10	45	12,1	11,5	12,3	11,97	45	12,2	12,6	12,3	12,37
50	11,8	12,1	12,4	12,10	50	12,1	11,5	12,3	11,97	50	12,2	12,6	12,3	12,37
55	11,7	12,1	12,4	12,07	55	12,1	11,5	12,2	11,93	55	12,2	12,6	12,3	12,37
60	11,7	12	12,4	12,03	60	11,9	11,5	12,2	11,87	60	12,1	12,6	12,3	12,33
65	11,7	12	12,4	12,03	65	11,9	11,5	12,2	11,87	65	12	12,6	12,3	12,30
70	11,6	12	12,3	11,97	70	11,9	11,4	12,2	11,83	70	12	12,5	12,2	12,23
75	11,6	12	12,3	11,97	75	11,9	11,4	12,1	11,80	75	12	12,5	12,2	12,23
80	11,6	12	12,3	11,97	80	11,9	11,4	12,1	11,80	80	12	12,4	12,2	12,20
85	11,6	12	12,3	11,97	85	11,8	11,4	12,1	11,77	85	12	12,4	12,2	12,20
90	11,6	11,9	12,3	11,93	90	11,8	11,4	12,1	11,77	90	11,9	12,4	12,1	12,13
95	11,6	11,9	12,2	11,90	95	11,8	11,4	11,9	11,70	95	11,9	12,4	12,1	12,13
100	11,6	11,9	12,2	11,90	100	11,8	11,3	11,9	11,67	100	11,9	12,4	12,1	12,13
105	11,5	11,9	12,2	11,87	105	11,8	11,3	11,9	11,67	105	11,9	12,4	12,1	12,13
110	11,5	11,9	12,2	11,87	110	11,7	11,3	11,9	11,63	110	11,9	12,3	11,9	12,03

Tiempo	R1	R2	R3	Promedio de Temperatura	Tiempo	R1	R2	R3	Promedio de Temperatura	Tiempo	R1	R2	R3	Promedio de Temperatura
10765	-8,9	-9,9	-9,3	-9,37	12520	-9,6	-9,4	-10,7	-9,90	11185	-8,1	-8,9	-9	-8,67
10770	-8,9	-9,9	-9,3	-9,37	12525	-9,6	-9,4	-10,7	-9,90	11190	-8,1	-8,9	-9,1	-8,70
10775	-8,9	-9,9	-9,4	-9,40	12530	-9,6	-9,4	-10,7	-9,90	11195	-8,1	-8,9	-9,1	-8,70
10780	-8,9	-9,9	-9,4	-9,40	12535	-9,7	-9,4	-10,7	-9,93	11200	-8,2	-8,9	-9,1	-8,73
10785	-8,9	-9,9	-9,5	-9,43	12540	-9,7	-9,4	-10,7	-9,93	11205	-8,2	-8,9	-9,1	-8,73
10790	-8,9	-9,9	-9,5	-9,43	12545	-9,7	-9,4	-10,7	-9,93	11210	-8,2	-8,9	-9,2	-8,77
10795	-9	-9,9	-9,5	-9,47	12550	-9,8	-9,4	-10,7	-9,97	11215	-8,2	-8,9	-9,2	-8,77
10800	-9	-9,9	-9,5	-9,47	12555	-9,8	-9,4	-10,7	-9,97	11220	-8,2	-8,9	-9,3	-8,80
10805	-9	-9,9	-9,6	-9,50	12560	-9,9	-9,4	-10,7	-10,00	11225	-8,2	-9	-9,3	-8,83
10810	-9	-10	-9,6	-9,53	12565	-9,9	-9,4	-10,7	-10,00	11230	-8,2	-9	-9,4	-8,87
10815	-9,1	-10	-9,6	-9,57	12570	-9,9	-9,4	-10,7	-10,00	11235	-8,2	-9	-9,4	-8,87
10820	-9,1	-10	-9,6	-9,57	12575	-9,9	-9,4	-10,7	-10,00	11240	-8,5	-9	-9,4	-8,97
10825	-9,1	-10	-9,6	-9,57	12580	-10	-9,4	-10,7	-10,03	11245	-8,5	-9	-9,4	-8,97
10830	-9,1	-10	-9,7	-9,60	12585	-10	-9,4	-10,7	-10,03	11250	-8,5	-9	-9,5	-9,00
10835	-9,1	-10	-9,7	-9,60	12590	-10	-9,4	-10,7	-10,03	11255	-8,5	-9	-9,5	-9,00
10840	-9,1	-10	-9,7	-9,60	12595	-10	-9,4	-10,7	-10,03	11260	-8,5	-9	-9,5	-9,00
10845	-9,2	-10	-9,7	-9,63	12600	-10	-9,4	-10,7	-10,03	11265	-8,5	-9	-9,5	-9,00
10850	-9,2	-10	-9,7	-9,63	12605	-10,1	-9,4	-10,7	-10,07	11270	-8,5	-9	-9,6	-9,03
10855	-9,3	-10	-9,7	-9,67	12610	-10,1	-9,4	-10,7	-10,07	11275	-8,6	-9	-9,6	-9,07
10860	-9,3	-10,1	-9,7	-9,70	12615	-10,1	-9,4	-10,7	-10,07	11280	-8,6	-9	-9,6	-9,07
10865	-9,3	-10,1	-9,8	-9,73	12620	-10,1	-9,4	-10,7	-10,07	11285	-8,6	-9	-9,7	-9,10
10870	-9,4	-10,1	-9,8	-9,77	12625	-10,1	-9,4	-10,7	-10,07	11290	-8,6	-9	-9,8	-9,13
10875	-9,4	-10,1	-9,8	-9,77	12630	-10,1	-9,4	-10,7	-10,07	11295	-8,6	-9	-9,8	-9,13
10880	-9,4	-10,1	-9,8	-9,77	12635	-10,1	-9,4	-10,7	-10,07	11300	-8,6	-9,1	-9,8	-9,17
10885	-9,4	-10,1	-9,9	-9,80	12640	-10,1	-9,4	-10,7	-10,07	11305	-8,6	-9,1	-9,9	-9,20
10890	-9,4	-10,1	-9,9	-9,80	12645	-10,1	-9,4	-10,7	-10,07	11310	-8,6	-9,1	-9,9	-9,20
10895	-9,5	-10,1	-9,9	-9,83	12650	-10,1	-9,4	-10,7	-10,07	11315	-8,6	-9,1	-9,9	-9,20
10900	-9,5	-10,1	-9,9	-9,83	12655	-10,1	-9,4	-10,7	-10,07	11320	-8,6	-9,1	-9,9	-9,20

ANEXO 5: Registro de tiempo - temperatura del congelado de tubérculos de papa (Yana Imilla, Parko Chasca y Ccompis) a - 15°C.

Tiempo	YANA IMILLA				PARKO CHASKA				CCOMPIS					
	R1	R2	R3	Promedio de Temperatura	Tiempo	R1	R2	R3	Promedio de Temperatura	Tiempo	R1	R2	R3	Promedio de Temperatura
0	10,8	11,3	11,7	11,27	0	12,1	11,9	12,3	12,10	0	12,2	12,4	11,9	12,17
5	10,8	11,3	11,7	11,27	5	12,1	11,9	12,3	12,10	5	12,2	12,4	11,9	12,17
10	10,8	11,3	11,7	11,27	10	12,1	11,9	12,3	12,10	10	12,2	12,4	11,9	12,17
15	10,8	11,3	11,7	11,27	15	12,1	11,8	12,2	12,03	15	12,2	12,4	11,9	12,17
20	10,8	11,3	11,6	11,23	20	12,1	11,8	12,2	12,03	20	12,2	12,4	11,8	12,13
25	10,8	11,2	11,5	11,17	25	12,1	11,7	12,2	12,00	25	12,2	12,3	11,8	12,10
30	10,8	11,2	11,5	11,17	30	12,1	11,7	12,2	12,00	30	12,2	12,3	11,8	12,10
35	10,8	11,1	11,5	11,13	35	12,1	11,7	12,1	11,97	35	12,2	12,3	11,8	12,10
40	10,8	11,1	11,5	11,13	40	12,1	11,7	12,1	11,97	40	12,2	12,3	11,8	12,10
45	10,8	11	11,4	11,07	45	12,1	11,6	12,1	11,93	45	12,2	12,3	11,8	12,10
50	10,8	11	11,4	11,07	50	12,1	11,6	12,1	11,93	50	12,2	12,3	11,8	12,10
55	10,8	11	11,4	11,07	55	12,1	11,6	11,9	11,87	55	12,2	12,3	11,7	12,07
60	10,8	11	11,4	11,07	60	12,1	11,5	11,9	11,83	60	12,2	12,3	11,7	12,07
65	10,8	10,9	11,3	11,00	65	12,1	11,5	11,9	11,83	65	12,2	12,3	11,7	12,07
70	10,8	10,9	11,3	11,00	70	12,1	11,5	11,9	11,83	70	12,2	12,3	11,7	12,07
75	10,7	10,9	11,3	10,97	75	12,1	11,4	11,8	11,77	75	12,2	12,3	11,7	12,07
80	10,7	10,9	11,3	10,97	80	12	11,4	11,8	11,73	80	12,1	12,3	11,7	12,03
85	10,7	10,8	11,2	10,90	85	12	11,4	11,8	11,73	85	12,1	12,2	11,7	12,00
90	10,7	10,8	11,2	10,90	90	12	11,4	11,8	11,73	90	12,1	12,2	11,6	11,97
95	10,7	10,8	11,1	10,87	95	12	11,3	11,8	11,70	95	12,1	12,2	11,6	11,97
100	10,6	10,8	11,1	10,83	100	12	11,3	11,7	11,67	100	12,1	12,2	11,6	11,97
105	10,6	10,7	11	10,77	105	12	11,2	11,7	11,63	105	12,1	12,2	11,6	11,97
110	10,6	10,7	11	10,77	110	11,9	11,2	11,7	11,60	110	12,1	12,2	11,6	11,97

Tiempo	R1	R2	R3	Promedio de Temperatura	Tiempo	R1	R2	R3	Promedio de Temperatura	Tiempo	R1	R2	R3	Promedio de Temperatura
10250	-14,2	-14,7	-14,5	-14,47	12950	-14,9	-15,1	-15,1	-15,03	11015	-12,8	-13,8	-15	-13,87
10255	-14,2	-14,7	-14,5	-14,47	12955	-14,9	-15,1	-15,1	-15,03	11020	-12,8	-13,8	-15	-13,87
10260	-14,2	-14,7	-14,5	-14,47	12960	-14,9	-15,1	-15,1	-15,03	11025	-12,9	-13,8	-15	-13,90
10265	-14,2	-14,7	-14,5	-14,47	12965	-14,9	-15,1	-15,1	-15,03	11030	-12,9	-13,8	-15	-13,90
10270	-14,2	-14,7	-14,6	-14,50	12970	-14,9	-15,1	-15,1	-15,03	11035	-12,9	-13,8	-15	-13,90
10275	-14,2	-14,8	-14,6	-14,53	12975	-14,9	-15,1	-15,1	-15,03	11040	-13	-13,9	-15	-13,97
10280	-14,2	-14,8	-14,6	-14,53	12980	-14,9	-15,1	-15,1	-15,03	11045	-13	-13,9	-15	-13,97
10285	-14,2	-14,8	-14,7	-14,57	12985	-14,9	-15,1	-15,1	-15,03	11050	-13	-13,9	-15	-13,97
10290	-14,2	-14,8	-14,7	-14,57	12990	-14,9	-15,1	-15,1	-15,03	11055	-13	-13,9	-15	-13,97
10295	-14,2	-14,8	-14,8	-14,60	12995	-14,9	-15,1	-15,1	-15,03	11060	-13,2	-13,9	-15	-14,03
10300	-14,2	-14,8	-14,8	-14,60	13000	-14,9	-15,1	-15,1	-15,03	11065	-13,2	-13,9	-15	-14,03
10305	-14,2	-14,9	-14,8	-14,63	13005	-14,9	-15,1	-15,1	-15,03	11070	-13,2	-14,1	-15,1	-14,13
10310	-14,2	-14,9	-14,8	-14,63	13010	-14,9	-15,1	-15,1	-15,03	11075	-13,3	-14,1	-15,1	-14,17
10315	-14,2	-14,9	-14,9	-14,67	13015	-15	-15,1	-15,1	-15,07	11080	-13,3	-14,1	-15,1	-14,17
10320	-14,2	-14,9	-14,9	-14,67	13020	-15	-15,1	-15,1	-15,07	11085	-13,3	-14,1	-15,1	-14,17
10325	-14,2	-14,9	-14,9	-14,67	13025	-15	-15,1	-15,1	-15,07	11090	-13,3	-14,1	-15,1	-14,17
10330	-14,2	-15,1	-14,9	-14,73	13030	-15	-15,1	-15,1	-15,07	11095	-13,4	-14,2	-15,1	-14,23
10335	-14,2	-15,1	-15	-14,77	13035	-15	-15,1	-15,1	-15,07	11100	-13,4	-14,2	-15,1	-14,23
10340	-14,2	-15,1	-15	-14,77	13040	-15	-15,1	-15,1	-15,07	11105	-13,4	-14,2	-15,1	-14,23
10345	-14,2	-15,1	-15	-14,77	13045	-15	-15,1	-15,1	-15,07	11110	-13,4	-14,2	-15,1	-14,23
10350	-14,2	-15,1	-15	-14,77	13050	-15	-15,1	-15,1	-15,07	11115	-13,6	-14,2	-15,1	-14,30
10355	-14,2	-15,2	-15	-14,80	13055	-15	-15,2	-15,1	-15,10	11120	-13,6	-14,3	-15,1	-14,33
10360	-14,2	-15,2	-15	-14,80	13060	-15	-15,2	-15,1	-15,10	11125	-13,6	-14,3	-15,2	-14,37
10365	-14,3	-15,2	-15	-14,83	13065	-15	-15,2	-15,1	-15,10	11130	-13,6	-14,3	-15,2	-14,37
10370	-14,3	-15,2	-15	-14,83	13070	-15,1	-15,2	-15,1	-15,13	11135	-13,7	-14,3	-15,2	-14,40
10375	-14,3	-15,2	-15	-14,83	13075	-15,1	-15,2	-15,1	-15,13	11140	-13,7	-14,3	-15,2	-14,40
10380	-14,3	-15,3	-15	-14,87	13080	-15,1	-15,2	-15,1	-15,13	11145	-13,7	-14,7	-15,2	-14,53



ANEXO 6: Resultados recopilados para la clasificación y selección de los tubérculos de papa.

Tabla 10

Control de medidas

CÓDIGO	<i>Lado Mayor</i> <i>cm</i>	<i>Lado menor</i> <i>cm</i>	<i>Variación</i> <i>cm</i>	<i>Promedio</i> <i>cm</i>	<i>Grosor</i> <i>cm</i>	<i>Área Cir.</i> <i>cm²</i>
<i>Yana Imilla</i>						
Y26	5,27	4,63	0,64	4,95	3,25	19,24
Y17	5,16	4,60	0,55	4,88	3,49	18,70
Y13	5,17	4,61	0,56	4,89	3,54	18,78
Y34	5,00	4,51	0,49	4,75	3,61	17,73
Y10	5,00	4,58	0,43	4,79	3,48	18,02
Y12	5,23	4,62	0,61	4,93	3,63	19,06
Y21	5,10	4,58	0,52	4,84	3,42	18,40
Y18	5,24	4,72	0,52	4,98	3,66	19,48
Y25	5,05	4,91	0,15	4,98	3,76	19,47
Promedio						18,77
<i>Parko Chasca</i>						
CH1	5,11	4,84	0,27	4,98	3,45	19,44
CH11	5,36	4,93	0,43	5,14	3,29	20,79
CH24	5,43	4,78	0,65	5,11	3,46	20,47
CH14	5,37	4,57	0,81	4,97	3,54	19,39
CH15	5,43	4,63	0,80	5,03	3,62	19,85
CH20	5,34	5,04	0,30	5,19	3,79	21,18
CH4	5,33	4,73	0,60	5,03	3,59	19,85
CH17	5,37	5,04	0,33	5,20	3,81	21,27
CH13	5,29	4,76	0,53	5,03	3,48	19,85
Promedio						20,23
<i>Ccompis</i>						
C12	5,24	5,03	0,21	5,13	3,54	20,69
C13	5,47	4,78	0,69	5,13	3,64	20,65
C25	5,41	4,90	0,51	5,15	3,62	20,85
C27	5,42	5,14	0,28	5,28	3,63	21,92
C19	5,45	4,79	0,66	5,12	3,82	20,60
C7	5,31	4,63	0,68	4,97	3,61	19,42
C8	5,21	4,58	0,63	4,89	3,88	18,79
C21	5,36	4,63	0,73	5,00	3,66	19,62
C18	5,09	5,00	0,09	5,05	3,22	20,01
Promedio						20,28
PROMEDIO TOTAL						19,76



Tabla 11

Control de Volumen

<i>Yana Imilla</i>		<i>Parko Chasca</i>		<i>Ccompis</i>	
Código	Volumen <i>ml</i>	Código	Volumen <i>ml</i>	Código	Volumen <i>ml</i>
Y26	59	CH1	59	C12	68
Y17	59	CH11	59	C13	55
Y13	61	CH24	66	C25	59
Y34	59	CH14	69	C27	69
Y10	61	CH15	68	C19	63
Y12	62	CH20	65	C7	58
Y21	54	CH4	60	C8	56
Y18	60	CH17	71	C21	61
Y25	66	CH13	58	C18	61
Promedio	60,11	Promedio	63,89	Promedio	61,11
Promedio total				61,70	

Tabla 12

Control de peso

<i>Yana Imilla</i>		<i>Parko Chasca</i>		<i>Ccompis</i>	
Código	Peso <i>g</i>	Código	Peso <i>g</i>	Código	Peso <i>g</i>
Y26	48,30	CH1	56,29	C12	49,43
Y17	45,39	CH11	51,13	C13	47,14
Y13	45,46	CH24	52,53	C25	49,21
Y34	40,47	CH14	44,74	C27	50,32
Y10	47,98	CH15	54,64	C19	49,98
Y12	46,88	CH20	51,14	C7	48,31
Y21	46,13	CH4	49,52	C8	41,29
Y18	48,30	CH17	53,20	C21	48,55
Y25	49,13	CH13	50,07	C18	50,10
Promedio	46,45	Promedio	51,47	Promedio	48,14
Promedio total				48,69	

ANEXO 7: Resultados del proceso de congelación en las propiedades de congelación.

Tabla 13

Parámetros del proceso de congelación

Exp.	Variedad	Rep.	T (°C)	T_i (°C)	t_{cong} (min.)	V_{cong} (°C/min)
1	Yana Imilla	1	-5	---	111,17	-0,0011
2	Yana Imilla	2	-5	---	128,92	-0,0009
3	Yana Imilla	3	-5	---	126,92	-0,0008
4	Yana Imilla	1	-10	-1,5	183,92	-3,00E-05
5	Yana Imilla	2	-10	-1,2	181,00	-3,00E-05
6	Yana Imilla	3	-10	-1,0	182,17	-0,0002
7	Yana Imilla	1	-15	-1,2	180,08	-4,00E-05
8	Yana Imilla	2	-15	-0,9	172,17	-1,00E-05
9	Yana Imilla	3	-15	-1,0	173,58	-6,00E-05
10	Parko Chasca	1	-5	---	135,50	-2,00E-04
11	Parko Chasca	2	-5	---	97,00	-5,00E-04
12	Parko Chasca	3	-5	---	106,25	-3,00E-04
13	Parko Chasca	1	-10	-0,9	210,08	-7,00E-05
14	Parko Chasca	2	-10	-1,3	232,08	-7,00E-06
15	Parko Chasca	3	-10	-0,9	191,50	-0,0002
16	Parko Chasca	1	-15	-1,2	217,83	-5,00E-05
17	Parko Chasca	2	-15	-0,9	215,42	-3,00E-05
18	Parko Chasca	3	-15	-1,1	206,42	7,00E-06
18	Ccompis	1	-5	---	144,75	-3,00E-04
20	Ccompis	2	-5	---	115,42	-1,00E-03
21	Ccompis	3	-5	---	103,50	-4,00E-04
22	Ccompis	1	-10	-1,4	202,00	-1,00E-04
23	Ccompis	2	-10	-0,9	223,92	-9,00E-05
24	Ccompis	3	-10	-1,1	189,33	-2,00E-05
25	Ccompis	1	-15	-0,9	189,92	-4,00E-05
26	Ccompis	2	-15	-0,9	187,58	-3,00E-05
27	Ccompis	3	-15	-1,2	184,50	-2,00E-06

Nota: T_i = Temperatura de inicio de congelación, t_{cong} = Tiempo de congelación y V_{cong} = Velocidad de congelación.

ANEXO 8: Resultados del proceso de congelación en las propiedades fisicoquímicas.**A. Textura.****Tabla 14***Parámetros de textura: Firmeza*

Exp.	Variedad	Rep.	T (°C)	Firmeza (N)
1	<i>Yana Imilla</i>	1	-5	42,72
2	<i>Yana Imilla</i>	2	-5	41,16
3	<i>Yana Imilla</i>	3	-5	40,3
4	<i>Yana Imilla</i>	1	-10	38,47
5	<i>Yana Imilla</i>	2	-10	37,97
6	<i>Yana Imilla</i>	3	-10	38,86
7	<i>Yana Imilla</i>	1	-15	35,09
8	<i>Yana Imilla</i>	2	-15	35,97
9	<i>Yana Imilla</i>	3	-15	36,63
10	<i>Parko Chasca</i>	1	-5	39,45
11	<i>Parko Chasca</i>	2	-5	40,32
12	<i>Parko Chasca</i>	3	-5	42,42
13	<i>Parko Chasca</i>	1	-10	37,4
14	<i>Parko Chasca</i>	2	-10	37,71
15	<i>Parko Chasca</i>	3	-10	35,37
16	<i>Parko Chasca</i>	1	-15	34,82
17	<i>Parko Chasca</i>	2	-15	35,29
18	<i>Parko Chasca</i>	3	-15	36,94
18	<i>Ccompis</i>	1	-5	43,87
20	<i>Ccompis</i>	2	-5	41,46
21	<i>Ccompis</i>	3	-5	44,15
22	<i>Ccompis</i>	1	-10	37,46
23	<i>Ccompis</i>	2	-10	38,4
24	<i>Ccompis</i>	3	-10	37,77
25	<i>Ccompis</i>	1	-15	35,32
26	<i>Ccompis</i>	2	-15	34,27
27	<i>Ccompis</i>	3	-15	36,46

B. Color

Tabla 15

Parámetros de color a, b*, L, YI (Índice de Amarillez) y ΔE (Variación de color)*

Exp.	Variedad	Rep.	T (°C)	a*	b*	L	YI	ΔE
1	<i>Yana Imilla</i>	1	-5	3,2	19,3	72,8	37,87	4,58
2	<i>Yana Imilla</i>	2	-5	4,2	13,7	58,7	33,34	12,02
3	<i>Yana Imilla</i>	3	-5	4,4	12,6	60,1	29,95	10,87
4	<i>Yana Imilla</i>	1	-10	6,8	16,2	72,2	32,05	3,69
5	<i>Yana Imilla</i>	2	-10	3,2	13,6	71,7	27,10	2,06
6	<i>Yana Imilla</i>	3	-10	3,3	10,8	59,5	25,93	11,98
7	<i>Yana Imilla</i>	1	-15	4,3	17,1	72,2	33,84	2,51
8	<i>Yana Imilla</i>	2	-15	4,4	16,9	69,4	34,79	2,15
9	<i>Yana Imilla</i>	3	-15	3,5	15,7	73,9	30,35	3,33
10	<i>Parko Chasca</i>	1	-5	3,9	24,2	55,6	62,18	3,36
11	<i>Parko Chasca</i>	2	-5	4,3	22,4	72,1	44,38	13,76
12	<i>Parko Chasca</i>	3	-5	2,4	25,1	52,3	68,56	6,48
13	<i>Parko Chasca</i>	1	-10	3,3	27,4	67,7	57,82	9,22
14	<i>Parko Chasca</i>	2	-10	2,1	19,6	61,2	45,75	6,45
15	<i>Parko Chasca</i>	3	-10	2,7	24,5	68,6	51,02	9,97
16	<i>Parko Chasca</i>	1	-15	2,9	27,5	57,8	67,97	2,34
17	<i>Parko Chasca</i>	2	-15	6,2	12,3	61,6	28,53	13,71
18	<i>Parko Chasca</i>	3	-15	6	18,9	49,4	54,66	11,64
18	<i>Ccompis</i>	1	-5	2,8	16,1	68,3	33,68	4,00
20	<i>Ccompis</i>	2	-5	3,6	23,7	70,5	48,03	8,10
21	<i>Ccompis</i>	3	-5	3	17,6	72,3	34,78	7,42
22	<i>Ccompis</i>	1	-10	4,7	17,4	72,1	34,48	7,12
23	<i>Ccompis</i>	2	-10	5,1	16,4	60,3	38,85	4,97
24	<i>Ccompis</i>	3	-10	5,2	15,1	68	31,72	4,14
25	<i>Ccompis</i>	1	-15	3,3	18,9	71,8	37,61	6,96
26	<i>Ccompis</i>	2	-15	6,1	16,9	60,9	39,64	4,57
27	<i>Ccompis</i>	3	-15	6,2	18,9	66,3	40,72	2,55



ANEXO 9: Resultados de análisis de varianza (ANOVA) y análisis de comparación

Duncan para el tiempo de congelación.

Tabla 16

Análisis de Varianza (ANOVA), para el tiempo de congelación

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Sig.
VARIEDAD (A)	2	1662,90	831,45	4,32	**
TEMPERATURA (B)	2	35764,90	17882,45	92,95	**
AxB	4	2138,24	534,56	2,78	n.s.
Error Exp.	18	3462,98	192,39		
TOTAL	26	43029,02			

CV=8,15

Tabla 17

Análisis de comparación Duncan, para la variación en el tiempo de congelación, según su variedad

Variedad	Media	N	
Parko Chasca	179,12	9	A
Ccompis	171,21	9	A
Yana Imilla	159,99	9	B

Tabla 18

Análisis de comparación Duncan, para la variación en el tiempo de congelación, según la temperatura

Temperatura	Media	N	
-10°C	199,56	9	A
-15°C	191,94	9	A
-5°C	118,83	9	B

ANEXO 10: Resultados de análisis de varianza (ANOVA) y análisis de comparación

Duncan para la velocidad de congelación.

Tabla 19*Análisis de Varianza (ANOVA), para la velocidad de congelación*

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Sig.
VARIEDAD (A)	2	1,9E-07	9,5E-08	4,01	**
TEMPERATURA (B)	2	1,9E-06	9,3E-07	39,38	**
AxB	4	3,6E-07	9,0E-08	3,80	n.s.
Error Exp.	18	4,3E-07	2,4E-08		
TOTAL	26	2,8E-06			

CV=6,93

Tabla 20*Análisis de comparación Duncan, para la variación de la velocidad de congelación,**según su variedad.*

Variedad	Media	N		
Parko Chasca	-1,5E-04	9	A	
Ccompis	-2,2E-04	9	A	B
Yana Imilla	-3,5E-04	9		B

Tabla 21*Análisis de comparación Duncan, para la variación de la velocidad de congelación,**según la temperatura*

Temperatura	Media	N		
-15°C	-2,8E-05	9	A	
-10°C	-8,3E-05	9	A	
-5°C	-6,1E-04	9		B



ANEXO 11: Resultados de análisis de varianza (ANOVA) y análisis de comparación

Duncan para la temperatura de inicio de congelación.

Tabla 22

Análisis de Varianza (ANOVA), para la temperatura de inicio de congelación -10°C y -15°C

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Sig.
VARIEDAD (A)	2	0,02	0,01	0,27	**
TEMPERATURA (B)	1	0,04	0,04	1,05	**
AxB	2	0,04	0,02	0,51	n.s.
Error Exp.	12	0,51	0,04		
TOTAL	17	0,63			

CV=19,09

Tabla 23

Análisis de comparación Duncan para la variación del parámetro temperatura de inicio de congelación, según su variedad

Variedad	Media	N	
Parko Chasca	-1,05	6	A
Ccompis	-1,07	6	A
Yana Imilla	-1,13	6	A

Tabla 24

Análisis de comparación Duncan para la variación del parámetro temperatura de inicio de congelación, según la temperatura

Temperatura	Media	N	
-15°C	-1,03	9	A
-10°C	-1,13	9	A



ANEXO 12: Resultados de análisis de varianza (ANOVA) y análisis de comparación

Duncan para el parámetro de firmeza.

Tabla 25

Análisis de Varianza (ANOVA), para el parámetro firmeza

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Sig.
VARIEDAD (A)	2	5,50	2,75	2,23	**
TEMPERATURA (B)	2	174,30	87,15	79,64	**
AxB	4	8,41	2,10	1,70	n.s.
Error Exp.	18	22,21	1,23		
TOTAL	26	210,43			

CV= 5,47

Tabla 26

Análisis de comparación Duncan para la variación del parámetro firmeza, según su variedad

Variedad	Media	N	
Ccompis	38,80	9	A
Yana Imilla	38,57	9	A
Parko Chasca	37,75	9	A

Tabla 27

Análisis de comparación Duncan para la variación del parámetro firmeza, según la temperatura

Temperatura	Media	N	
-5°C	41,76	9	A
-10°C	37,71	9	B
-15°C	35,64	9	C



ANEXO 13: Resultados de análisis de varianza (ANOVA) y análisis de comparación

Duncan para el parámetro de color a^* .

Tabla 28

*Análisis de Varianza (ANOVA), para parámetro de color a^**

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Sig.
VARIEDAD (A)	2	2,15	1,07	0,77	**
TEMPERATURA (B)	2	6,91	3,46	2,47	**
AxB	4	9,67	2,42	1,73	s.n.
Error Exp.	18	25,20	1,40		
TOTAL	26	43,93			

CV= 28,76

Tabla 29

Análisis de comparación múltiple Duncan, para la variación del parámetro de color a^ , según variedad*

Variedad	Media	N	
Ccompis	4,44	9	A
Yana Imilla	4,14	9	A
Parko Chasca	3,76	9	A

Tabla 30

Análisis de comparación múltiple Duncan, para la variación del parámetro de color a^ , según la temperatura*

Variedad	Media	N		
-15°C	4,77	9	A	
-10°C	4,04	9	A	B
-5°C	3,53	9		B

ANEXO 14: Resultados de análisis de varianza (ANOVA) y análisis de comparación

Duncan para el parámetro de color b*.

Tabla 31*Análisis de Varianza (ANOVA), para parámetro de color b**

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Sig.
VARIEDAD (A)	2	246,62	123,31	9,64	**
TEMPERATURA (B)	2	12,10	6,05	0,47	n.s.
AxB	4	51,31	12,83	1,00	n.s.
Error Exp.	18	230,34	12,80		
TOTAL	26	540,37			

CV= 19,36

Tabla 32*Análisis de comparación Duncan, para la variación del parámetro de color b*, según su temperatura*

Variedad	Media	N	
-5°C	19,41	9	A
-15°C	18,12	9	A
-10°C	17,89	9	A

ANEXO 15: Resultados de análisis de varianza (ANOVA) y análisis de comparación

Duncan para el parámetro de color L.

Tabla 33*Análisis de Varianza (ANOVA), para parámetro de color L*

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Sig.
VARIEDAD (A)	2	305,31	152,65	3,87	**
TEMPERATURA (B)	2	24,83	12,41	0,32	n.s.
AxB	4	239,07	59,77	1,52	n.s.
Error Exp.	18	709,30	39,41		
TOTAL	26	1278,51			

CV= 9,59

Tabla 34

Análisis de comparación Duncan, para la variación del parámetro de color L según su variedad

Variedad	Media	N	
Yana Imilla	67,83	9	A
Ccompis	67,83	9	A
Parko Chasca	60,70	9	B

ANEXO 16: Resultados de análisis de varianza (ANOVA) y análisis de comparación Duncan para el parámetro de color ΔE .

Tabla 35

Análisis de Varianza (ANOVA), para parámetro de color ΔE

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Sig.
VARIEDAD (A)	2	48,49	24,25	1,74	**
TEMPERATURA (B)	2	24,13	12,06	0,87	**
AxB	4	46,91	11,73	0,84	n.s.
Error Exp.	18	250,73	13,93		
TOTAL	26	370,26			

CV=56,00

Tabla 36

Análisis de comparación Duncan para la variación del parámetro de color ΔE , según su variedad

Variedad	Media	N	
Parko Chasca	8,55	9	A
Yana Imilla	5,91	9	A
Ccompis	5,54	9	A



Tabla 37

Análisis de comparación Duncan para la variación del parámetro de color ΔE , según la temperatura

Temperatura	Media	N	
-5°C	7,84	9	A
-10°C	6,62	9	A
-15°C	5,53	9	A

ANEXO 17: Resultados de análisis de varianza (ANOVA) y análisis de comparación Duncan para el parámetro de color YI.

Tabla 38

Análisis de Varianza (ANOVA), para parámetro de color YI

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	Sig.
VARIEDAD (A)	2	2267,00	1133,50	**
TEMPERATURA (B)	2	128,30	64,15	**
AxB	4	67,69	16,92	n.s.
Error Exp.	18	1414,48	78,58	
TOTAL	26	3877,46		

CV= 21,65

Tabla 39

Análisis de comparación Duncan para la variación del parámetro de color YI. Según su variedad

Variedad	Media	N	
Parko Chasca	53,43	9	A
Ccompis	37,72	9	B
Yana Imilla	31,69	9	B

Tabla 40

Análisis de comparación Duncan para la variación del parámetro de color YI. según la temperatura

Temperatura	Media	N	
-5°C	43,64	9	A
-15°C	40,90	9	A
-10°C	38,30	9	A

ANEXO 18: Álbum de fotos del proceso de selección y clasificación de la papa (*Solanum tuberosum*).

Figura 22

Selección y clasificación de la papa variedad Ccompis



Figura 23

Selección y clasificación de la papa variedad Yana Imilla



Figura 24

Selección y clasificación de la papa variedad Parko Chasca



Figura 25

Selección y clasificación, toma de imágenes





ANEXO 19: Declaración jurada de autenticidad de tesis.



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo JENNIFER RAQUEL ARISACA APAZA,
identificado con DNI 74227206 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
“ PROPIEDADES DE CONGELACIÓN, CALIDAD FISICOQUÍMICA Y MICROESTRUCTURA
EN TRES VARIEDADES DE PAPA (Solanum tuberosum) CON POTENCIAL USO
EN LA PRODUCCIÓN DE TUNTA. ”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 17 de Julio del 20 24




FIRMA (obligatoria)



Huella



ANEXO 20: Ficha de autorización para el depósito de tesis en el repositorio institucional.

 Universidad Nacional del Altiplano Puno	 Vicerrectorado de Investigación	 Repositorio Institucional
---	---	---

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo JENNIFER RAQUEL ARISACA APAZA,
identificado con DNI 74227206 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, **Programa de Segunda Especialidad**, **Programa de Maestría o Doctorado**
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

informo que he elaborado el/la **Tesis** o **Trabajo de Investigación** denominada:
“ PROPIEDADES DE CONGELACIÓN, CALIDAD FISICOQUÍMICA Y MICROESTRUCTURA
EN TRES VARIEDADES DE PAPA (Solanum tuberosum) CON POTENCIAL USO
EN LA PRODUCCIÓN DE TUNTA. ”

para la obtención de **Grado**, **Título Profesional** o **Segunda Especialidad**.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 17 de Julio del 2024



FIRMA (obligatoria)

