

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería de alimentos



Una Institución Adventista

Caracterización de las propiedades tecnofuncionales del almidón total y cuantificación del almidón resistente de tunta y chuño

Por:

Fanny Jhoanna Chilon Huaman
Rosmery Mamani Rodriguez

Asesor:

Dr. Noé Benjamín Pampa Quispe

Lima, Mayo de 2019

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS

Yo Noé Benjamín Pampa Quispe, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: "Caracterización de las propiedades tecnofuncionales del almidón total y cuantificación del almidón resistente de tunta y chuño (*Solanum tuberosum andígena*)" que constituye la memoria que presentan las Bachilleres Fanny Jhoanna Chilon Huaman y Rosmery Mamani Rodriguez para aspirar al título Profesional de **Ingeniero de Alimentos**, cuya tesis ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Lima, a los 02 días de mayo del año 2019.



Dr. Noé Benjamín Pampa Quispe

Caracterización de las propiedades tecnofuncionales del almidón total
y cuantificación del almidón resistente de tunta y chuño (*Solanum
tuberosum*)

TESIS

Presentada para optar el Título Profesional de Ingeniero de Alimentos

JURADO CALIFICADOR



Dr. Rodrigo Alfredo Matos Chamorro
Presidente



Dr. Julio Florencio Paredes Guzmán
Secretario



Dr. Reynaldo Justino Silva Paz
Vocal



Ing. Guido Fulgencio Anglas Hurtado
Vocal



Dr. Noé Benjamín Pampa Quispe
Asesor

Lima, 01 de marzo de 2019

DEDICATORIA

A Dios por darnos la fortaleza y oportunidad de haber
culminado nuestros estudios universitarios y con
mucho cariño a nuestros padres por su compañía en
los buenos y malos momentos.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darnos las fuerzas necesarias para cumplir nuestras metas y porque nos brinda sabiduría y conocimiento.

A nuestros queridos padres: María del Rosario Huaman y Oscar Chilon; Placido Mamani Oviedo y Sonia Rodríguez Sánchez, por sus consejos en los momentos indicados y su apoyo incondicional para finalizar este trabajo de investigación.

A nuestro asesor el Dr. Noé Benjamín Pampa Quispe, por su valioso tiempo prestado, la paciencia y apoyo en la búsqueda de informaciones científicas.

A la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Alimentos, de la misma manera a los encargados de los tres distintos laboratorios por habernos brindado el espacio para la ejecución de esta investigación.

A la empresa Polifood Perú SAC, por haber brindado insumos necesarios para la ejecución del trabajo de investigación.

INDICE GENERAL

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 El almidón.....	3
2.2 Estructura del almidón	4
2.2.1 Amilopectina	5
2.2.2 Amilosa	7
2.3 Propiedades termo físicas	8
2.3.1 Gelatinización	8
2.3.2 Retrogradación.....	9
2.4 Tipos de Almidones	11
2.5 Almidón Resistente.....	12
2.5.1 Tipos de Almidones Resistentes	15
2.5.2 Aplicación del almidón resistente en la industria alimentaria	18
2.6 Tunta o chuño blanco	20
2.6.1 Origen y definición	20
2.6.2 Valor nutricional	21
2.6.3 Calidad.....	22
2.6.4 Proceso tecnológico de la tunta	23
2.7 Chuño o chuño negro	25
2.7.1 Origen y definición	25
2.7.2 Valor nutritivo	27
2.7.3 Calidad y tamaño	27
2.7.4 Proceso tecnológico del chuño.....	28
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.1 Lugar de ejecución	30
3.2 Materia Prima	30
3.3 Materiales y equipos.....	30
3.3.1 Materiales	30
3.3.2 Reactivos	31
3.3.3 Equipos.....	32
3.4 Metodología Experimental	32
3.4.1 Elaboración de harinas.....	32
3.4.2 Análisis proximal de las harinas	33

3.4.3	Aislamiento de almidón total.....	33
3.4.4	Caracterización de almidón de la Tunta y Chuño	34
3.4.4.1	Propiedades Físico-químicas.....	34
3.4.4.1.1	Análisis proximal.....	34
3.4.4.1.2	Determinación de claridad de los geles	34
3.4.4.1.3	Índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA) y poder de hinchamiento (PH).....	35
3.4.4.1.4	Contenido de amilosa	35
3.4.4.1.5	Contenido de amilopectina	36
3.4.4.1.6	Colorimetría	36
3.4.4.2	Propiedades Térmicas.....	36
3.4.4.3	Propiedad Morfológica.....	37
3.4.4.3.1	Difracción de rayos X (DRx)	37
3.4.4.3.2	Microscopio electrónico de barrido (MEB)	37
3.4.5	Cuantificación de almidón resistente	37
3.5	Diagrama experimental.....	41
3.6	Diseño experimental	42
3.6.1	Diseño Estadístico	42
3.6.2	Análisis Estadístico	45
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		47
4.1	Composición proximal de la materia prima	47
4.2	Rendimiento de almidón total de la tunta y chuño.....	50
4.3	Caracterización físico-química del almidón total de la tunta y chuño ...	55
4.3.1	Composición proximal	55
4.3.2	Contenido de amilosa y amilopectina	58
4.3.3	Absorción de agua, solubilidad en agua y poder de hinchamiento ...	59
4.3.4	Claridad de geles	61
4.3.5	Colorimetría	61
4.3.6	Propiedades térmicas.....	62
4.3.6.1	Temperatura de gelatinización.....	62
4.3.6.2	Entalpía de gelatinización	65
4.3.7	Propiedades morfológicas	65
4.3.7.1	Determinación de difracción de rayos x (DR _x)	65
4.3.7.2	Determinación de microscopía electrónica de barrido (MEB).....	70
4.4	Cuantificación de almidón resistente de la tunta (ART) y chuño (ARC)	76

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES.....	86
RECOMENDACIONES.....	88
REFERENCIAS	89
ANEXOS	101

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Enlaces α - (1,4) y α - (1,6) entre las unidades de glucosilo presentes en la amilopectina y la amilosa	5
Figura 2. Estructura química de la amilopectina.....	7
Figura 3. Estructura química de la amilosa	8
Figura 4. Estructura del Almidón Resistente Tipo I (a), Tipo II (b) y Tipo III (c)..	8
Figura 5. Tunta para la venta	21
Figura 6. Procedimiento de elaboración de la Tunta	25
Figura 7. Chuño para la venta	26
Figura 8. Proceso de elaboración del Chuño	29
Figura 9. Proceso de aislamiento de almidón total de la tunta y chuño	34
Figura 10. Proceso de cuantificación de almidón resistente de la tunta y chuño	40
Figura 11. Diagrama experimental con variables independientes y dependientes	41
Figura 12. Gráfico de superficie de respuesta para el rendimiento (%) del almidón total de la tunta (ATT).....	53
Figura 13. Gráfico de superficie de respuesta para el rendimiento (%) del almidón total del chuño (ATC).....	54
Figura 14. Termograma del almidón de tunta (ATT).....	64
Figura 15. Termograma del almidón del chuño (ATC).....	64
Figura 16. Espectro de rayos X del almidón total de la tunta.....	68
Figura 17. Espectro de rayos X del almidón total del Chuño	69
Figura 18. Microscopía electrónica de barrido de gránulos de almidón de Tunta	70
Figura 19. Microscopía electrónica de barrido de gránulos de almidón de Chuño	71
Figura 20. Distribución normal del diámetro de esfera de ATT (a) y ATC (b)	72
Figura 21. Distribución normal del diámetro menor de forma elípticas de ATT (a) y ATC (b).....	73
Figura 22. Distribución normal del diámetro mayor de forma elípticas de ATT (a) y ATC (b)	74
Figura 23. Gráfico de superficie de respuesta para el rendimiento del almidón resistente de la tunta (ART)	81
Figura 24. Gráfico de superficie de respuesta para el rendimiento del almidón resistente del chuño (ARC)	84

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición nutricional de la Tunta por 100g	22
Tabla 2. Criterios de calidad para el chuño blanco	23
Tabla 3. Composición nutricional del chuño por 100 g	27
Tabla 4. Calidad y tamaño del chuño según su calidad	28
Tabla 5. Variables de estudio del almidón total (AT) de la tunta y el chuño	42
Tabla 6. Diseño estadístico factorial $2^2 + 2pd$ para los parámetros del AT de la tunta y el chuño.....	43
Tabla 7. Variables y niveles para cuantificar del almidón resistente (AR) de la tunta y el chuño.....	44
Tabla 8. Diseño estadístico factorial fraccionado 3^{3-1} de los parámetros del AR de la tunta y el chuño	45
Tabla 9. Rendimiento del almidón total de la tunta y chuño	50
Tabla 10. Análisis de varianza (ANOVA) del rendimiento del AT de la tunta	51
Tabla 11. Análisis de varianza (ANOVA) del rendimiento del AT del chuño.....	52
Tabla 12. Análisis proximal del almidón total de la tunta y chuño	56
Tabla 13. Contenido de amilosa y amilopectina del almidón total de la tunta y chuño	59
Tabla 14. Índice de absorción de agua, solubilidad en agua y poder de hinchamiento	59
Tabla 15. Claridad de geles del almidón total de la tunta y chuño	61
Tabla 16. Análisis de color en almidón total de la tunta y chuño.....	62
Tabla 17. Propiedades de gelatinización CDB para el almidón de tunta y chuño.....	63
Tabla 18. Entalpía de gelatinización para el almidón de tunta y chuño.....	65
Tabla 19. Rendimiento de almidón resistente de la tunta y chuño	76
Tabla 20. Análisis de varianza (ANOVA) del rendimiento del AR de la tunta	78
Tabla 21. Análisis de varianza (ANOVA) del rendimiento del AR del chuño	79

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Análisis proximal de la Harina de la Tunta y Chuño	101
Anexo 2. Rendimiento del almidón total de la tunta y chuño	102
Anexo 3. Diagrama de Pareto estandarizado para el rendimiento (%) del almidón total de la tunta (ATT).....	102
Anexo 4. Coeficiente de Regresión del rendimiento del AT de la tunta	103
Anexo 5. Diagrama de Contorno para el rendimiento (%) del almidón total de la tunta	103
Anexo 6. Diagrama de Pareto estandarizado para el rendimiento (%) del almidón total del chuño (ATC)	104
Anexo 7. Coeficiente de Regresión del rendimiento del AT del chuño	104
Anexo 8. Diagrama de Contorno para el rendimiento (%) del almidón total del chuño	105
Anexo 9. Datos de las Propiedades Físico-químicas del AT de la tunta y chuño	106
Anexo 10. T-test de variables independientes (Contenido de Amilosa en la tunta y chuño)	107
Anexo 11. Diagrama de caja comparativo del contenido de amilosa en el almidón total de la tunta (ATT) y chuño (ATC).....	107
Anexo 12. T-test de variables independientes (Contenido de Amilopectina en la tunta y chuño)	108
Anexo 13. Diagrama de caja comparativo del contenido de amilopectina en el almidón total de la tunta (ATT) y chuño (ATC)	108
Anexo 14. T-test de variables independientes (Absorción de agua de la tunta y chuño)	109
Anexo 15. Diagrama de caja comparativo del Índice de Absorción en el almidón total de la tunta (ATT) y chuño (ATC).....	109
Anexo 16. T-test de variables independientes (Solubilidad en agua de la tunta y chuño)	110
Anexo 17. Diagrama de caja comparativo del Índice de Solubilidad en agua del almidón total de la tunta (ATT) y chuño (ATC)	110
Anexo 18. T-test de variables independientes (Poder de Hinchamiento de la tunta y chuño)	111
Anexo 19. Diagrama de caja comparativo del Poder de Hinchamiento del almidón total de la tunta (ATT) y chuño (ATC).....	111

Anexo 20. T-test de variables independientes (Claridad de geles de la tunta y chuño)	112
Anexo 21. Diagrama de caja comparativo de Claridad de geles del almidón total de la tunta (ATT) y chuño (ATC)	112
Anexo 22. T-test de variables independientes (Colorimetría (L*, a* y b*) de la tunta y chuño)	113
Anexo 23. Diagrama de caja comparativo de Colorimetría (Luminosidad, coordenadas a* y b*) del almidón total de la tunta (ATT) y chuño (ATC)	114
Anexo 24. T-test de variables independientes (Gelatinización de la tunta y chuño)	116
Anexo 25. Diagrama de caja comparativo de gelatinización del almidón total de la tunta (ATT) y chuño (ATC)	117
Anexo 26. Datos generados para obtener el rendimiento del Almidón Resistente de la tunta	119
Anexo 27. Datos generados para obtener el rendimiento del Almidón Resistente del chuño	121
Anexo 28. Rendimiento de almidón resistente de la tunta y chuño	123
Anexo 29. Variables significativas en el rendimiento (%) del almidón resistente de la tunta (ART) según el diagrama Pareto	123
Anexo 30. Coeficiente de Regresión del rendimiento del AR de la tunta	124
Anexo 31. Diagrama de Contorno para el rendimiento (%) del almidón resistente de la tunta	124
Anexo 32. Variables significativas en el rendimiento (%) del almidón resistente del chuño (ARC) según el diagrama Pareto	126
Anexo 33. Coeficiente de Regresión del rendimiento del AR del chuño	126
Anexo 34. Diagrama de Contorno para el rendimiento (%) del almidón resistente del chuño	127
Anexo 35. Porcentaje de área y cristalinidad relativa del almidón de tunta y chuño	129

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue caracterizar las propiedades tecnofuncionales del almidón total y cuantificar el almidón resistente de la tunta y chuño. Se extrajo el almidón total de la tunta y chuño a diferentes concentraciones de NaOH (0.20 - 0.25 %) y agitación (2500 - 4500 rpm) utilizando el diseño de factorial 2^2 con puntos centrales, para obtener el mayor rendimiento (69.61% en la tunta y 73.28% en el chuño). Posteriormente se realizaron los análisis proximales (humedad, proteína, grasa, fibra cruda, ceniza y carbohidratos), físico-químicos (amilosa, amilopectina, absorción y solubilidad de agua, poder de hinchamiento, claridad de gel y colorimetría), propiedades térmicas (temperaturas de gelatinización y entalpía) y finalmente se examinó las propiedades morfológicas (difracción de rayos X y MEB). El ANOVA mostró significancia ($p < 0.05$) en los rendimientos de almidón total y resistente, también en los análisis físico-químicos excepto la solubilidad en agua. El almidón de tunta (65.21 °C) tuvo mayor temperatura de gelatinización que el almidón de chuño (63.69 °C), aunque exhibieron semejanza en el patrón de rayos X (tipo B) y formas (ovoides y elípticas). Luego para cuantificar el almidón resistente de la tunta y chuño a diferentes agitaciones (2000, 3000, 4000 RPM), temperaturas (40, 50, 60 °C) y tiempos (30, 40, 50 min) se empleó el diseño factorial fraccionado.

Palabras claves: Almidón total, almidón resistente, tunta, chuño.

ABSTRACT

The objective of the research was to characterize the techno-functional properties of total starch and to quantify the resistant starch of tunta and chuño. The total starch was extracted from tunta and chuño at different concentrations of NaOH (0.20 - 0.25%) and agitation (2500 - 4500 rpm) using the design of factorial 2² with central points, to obtain the best yield (69.61% in the tunta and 73.28% in chuño). Subsequently, proximal analysis (moisture, protein, fat, crude fiber, ash and carbohydrates), physical-chemical analysis (amylose, amylopectin, absorption and water solubility, swelling power, gel clarity and colorimetry), thermal properties (temperatures of gelatinization and enthalpy) and finally the morphological properties (X-ray diffraction and SEM) were examined. The ANOVA showed significance ($p < 0.05$) in the yields of total and resistant starch, also in the physical-chemical analyzes except the solubility in water. The tunta starch (65.21 ° C) had a higher gelatinization temperature than the starch of chuño (63.69 ° C), although they showed similarity in the pattern of X-rays (type B) and forms (ovoid and elliptical). Then to quantify the resistant starch of tunta and chuño at different agitations (2000, 3000, 4000 RPM), temperatures (40, 50, 60 ° C) and times (30, 40, 50 min) the fractional factorial design was used.

Keywords: Total starch, resistant starch, tunta, chuño.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La producción de tunta y chuño en el Perú se estima alrededor de 6,000 Tn/año y se comercializan 4,000 Tn/año; donde el 80 % de esta producción se destina al mercado boliviano y solo el 20 % se vende en el Perú (Arequipa, Cusco, Puno y, en menor cantidad Lima), debido a la mala organización de los productores que no permiten una operación coordinada para generar mejoras tecnológicas y comerciales (Fonseca y Ordinola, 2017; Fonseca, Huarachi, y Ordinola, 2011). El grupo de Proyecto de Desarrollo Comunitario [PRODECO] (2013) señalan que existe una escasez de información científica sobre la composición química y nutricional del almidón de la tunta y el chuño, lo que genera un bajo consumo de estos alimentos. El Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI] (2009) confirman que existe un escaso consumo de estos productos en las zonas rurales (7.7 kg/año), en la región sierra (6.4 kg/año) y en la región costa / selva (0.1 kg/año), de manera que se ocasiona un problema de Salud Pública a nivel nacional (Peñarrieta, Alvarado, Bravo y Bergenstahl, 2015). Asimismo, la INEI (2015) alude que las personas mayores de 15 años sufren sobrepeso (34.7 %) y obesidad (21.3 %) con mayor probabilidad en zonas urbanas. Según Sanabria (2013) reporta que la tunta y el chuño son alimentos funcionales con propiedades prebióticas, con un tipo de almidón lento en la digestión que genera saciedad, por lo cual son positivos para la dieta en personas con sobrepeso y obesidad. Zihua et al. (2007) informan que el almidón total es un carbohidrato digerible que contribuye con el metabolismo humano. Incluso, Tharanathan y Mahadevamma (2003) corroboran que el almidón proporciona la mayor fuente de energía fisiológica en la dieta humana, lo cual atrae la atención de los nutricionistas y tecnólogos de alimentos, debido a que muestran una contribución en la textura y propiedades organolépticas en los alimentos procesados. Por otro parte, uno de los tipos del almidón, es el almidón resistente que ayuda a estabilizar los niveles de azúcar en la sangre; de modo que es recomendable para las personas que sufren diabetes (Nugent, 2005; Aguilera, 2009). La tunta y el

chuño son componentes importantes en la dieta de los pobladores rurales y urbanos, debido a que previenen enfermedades gastrointestinales y cáncer al colon, por ende, desempeñan una función clave en seguridad y soberanía en alimentación, educación y salud, debido a que constituyen un 80 % de producción nacional en donde destacan las provincias de la región alto andina (Quispe, 2009; Fonseca, Huarachi, Chura y Cotrado, 2008).

El objetivo fue evaluar las propiedades tecnofuncionales del almidón total y cuantificar el almidón resistente de la tunta y chuño. Donde primero se aisló el almidón total (AT) de la tunta y chuño empleando un diseño de experimentos factoriales 2^2 con puntos centrales. Luego se caracterizó las propiedades físico-químicas, térmicas y morfológicas del almidón total de la tunta y el chuño. Seguidamente se procedió a evaluar comparativamente las propiedades del almidón total de la tunta y chuño, empleando test de muestras independientes. Y finalmente se cuantificó el almidón resistente (AR) de la tunta y chuño empleando diseño de experimentos factorial fraccionado 3^{3-1} .

CAPÍTULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 El almidón

El almidón es el segundo carbohidrato más abundante en la naturaleza después de la celulosa y es potencialmente digerible por las enzimas amilolíticas secretadas por el tracto digestivo humano. Incluso tiene propiedades distintivas que varían en su estructura molecular, la organización de gránulo, propiedades morfológicas, cristalinidad, gelatinización y la digestibilidad de enzima (Mutlu, Kahraman y Öztürk, 2016).

Además, el almidón presenta degradación, que se da por una variedad de enzimas como el α y β – amilasas, glucoamilasas, pululanasa, entre otros, que son responsables del valor comercial en la producción de glucosa y oligo dextrinas (Aguilera, 2009).

No obstante, el almidón es un hidrato de carbono importante en los cereales que contribuye con la reserva y está en el endospermo, donde existen formas de gránulo simple y el gránulo compuesto (Alayo, 2015). Sin embargo; Aguilera (2009) menciona que los almidones son reservas de polisacáridos de las plantas que representan las judías hasta 51 a 57 %, en los guisantes 25 a 50 % y en las lentejas hasta 40 a 57 %. Las cuales se localizan en el interior de gránulos cristalizados, los cuales se observa por microscopia con luz polarizada, que no son solubles en agua fría, pero algunas veces si producen hinchamiento, a una temperatura elevada producen viscosidad.

En la industria alimentaria, los almidones presentan propiedades de resistencia a tratamientos industriales que deforman la estructura del gel de almidón, donde existen fuentes comerciales que destacan el maíz, arroz, trigo, la papa, el sorgo y la arracacha (Alayo, 2015).

Los almidones son ayuda para reservar energía en las plantas, animales y personas. Sin embargo, los alimentos que tienen elevado contenido de almidón son alimentos básicos para muchas personas ya sea hoy o en el pasado, pero son de gran importancia

en países desarrollados, donde ya no se consume alimentos con elevado contenido de proteína y grasa, en consecuencia, a esto se ha incrementado niveles de diabetes, obesidad, problemas gastrointestinales y cardiovasculares, debido a un estilo de vida y sedentarismo. Pero se ha demostrado que los almidones resistentes tienen favorables funciones fisiológicas para las enfermedades, que deberían estar en nuestra dieta mediante alimentos procesados y no procesados (Quiroga, 2008).

Según Koteswara, Haripriya, Noor y Suriya (2014) señalan que el almidón contribuye de forma significativa a la calidad y consistencia de los productos comerciales, que tiene un alto índice glucémico que a menudo hace que sea desfavorable en términos de sus efectos para el consumidor.

2.2 Estructura del almidón

Rodríguez (2013) menciona que el almidón es un polisacárido formado por monosacáridos, por ejemplo, la glucosa que está enlazados por la α - (1 - 4) y α - (1 - 6) (Figura 1). Estructurado por dos componentes: amilosa de estructura lineal, está conformado por las glucosas y asociadas por enlaces α -(1-4) que está formado por 15 a 20 % de almidón, el otro componente es la amilopectina, lo cual es representada como una molécula que está ramificada de 80 a 85 %.

Quiroga (2008) alude que el almidón se encuentra en la naturaleza como dificultades partículas que son discretas, en términos químicos es una combinación de 2 polisacáridos muy iguales que son amilosa y amilopectina. La amilopectina es en sí un biopolímero ramificado, la amilosa es un poco lineal. Los dos biopolímeros tienen distintas propiedades y por ende contienen diferentes aplicaciones. Además, el gránulo de almidón tiene algunas regiones cristalizadas y otras no, con capas alternas donde las cadenas de amilopectina están formadas en las regiones cristalinas. Sin embargo, los almidones pueden llegar a tener 20 a 30 % de amilosa, pero también existen almidones que carecen de amilosa o almidones céreos, y/o contienen hasta 85 %. Las

formas de estos almidones pueden ser grandes y esféricos, como en la papa es de 15 a 100 μm y en el arroz de 5 a 9 μm .

El almidón es un carbohidrato biopolimérico que sirve como una fuente principal de energía en la dieta humana. Los dos componentes del almidón, amilosa y amilopectina; existen como polisacáridos de residuos de D-glucosa (Fabbri, Schacht y Crosby, 2016).

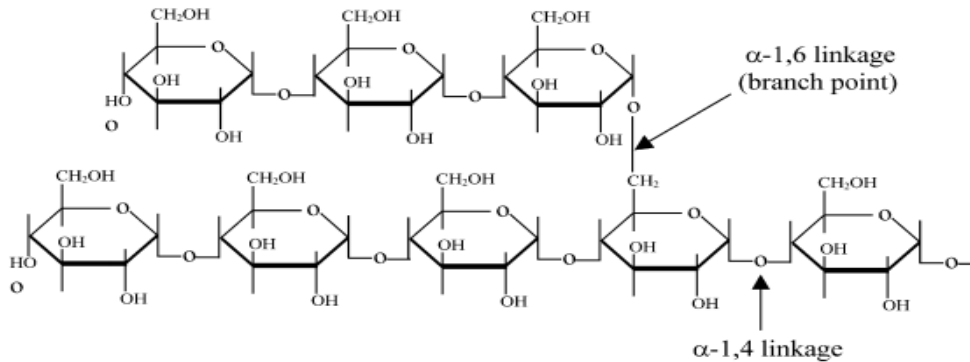


Figura 1. Enlaces α - (1,4) y α - (1,6) entre las unidades de glucosilo presentes en la amilopectina y la amilosa (Tharanathan y Mahadevamma, 2003)

2.2.1 Amilopectina

Espinoza (2008) menciona que la amilopectina es un componente que está ramificado, está compuesta por cadenas de residuos α -D- glucopiranosidos las cuales están unidos por enlaces α (1 - 4), tiene enlaces α (1 - 6) en los puntos de ramificación (Figura 2), en donde representa el 5 – 6 % del total de enlaces. Es el principal componente del almidón (70 – 80 %), en algunos niveles puede llegar hasta 98 – 99 %, a estos tipos de almidones se les conoce como ceroso. Su composición, estructura y fracción en el gránulo van a contribuir a las propiedades funcionales del almidón, es por eso que es estudiado muy ampliamente con respecto a su ramificación, tamaño molecular y longitud de las cadenas ya sea internas y/o externas. La masa molar de la amilopectina está entre 1×10^6 y 1×10^8 Da, las variaciones que ocurren dependen del origen botánico del mismo almidón, de las condiciones de fraccionamiento de moléculas

de amilosa y de la amilopectina y también qué tipo de método se va usar para determinar la masa molar.

La amilopectina, por su estructura y sus propiedades contribuyen verazmente en su composición y su funcionalidad del gránulo, estas moléculas han sido estudiadas por su ramificación, su longitud de las cadenas y su tamaño molecular (Canónico, 2003).

Incluso la amilopectina tiene una desavenencia de la amilosa, a causa de sus ramificaciones la cual le da una forma molecular similar a un árbol con sus ramas unidas a un tronco, donde existe uniones de los enlaces que se localizan en las unidades de glucosa 15 a 25, pero la macromolécula tiene un peso molecular de 107 a 108 g/mol (Alayo, 2015).

Por otro lado, la organización de cadena de amilopectina se divide en tres tipos. Las cadenas A, están unidas a una molécula por el extremo reductor, en la cadena B están enlazada casi similar, pero lleva una o más cadenas A u otras cadenas B. La cadena C es aquella que lleva el grupo final reductor. La relación que hay entre la cadena A hacia la cadena B es por un método que es para poder caracterizar la estructura de la amilopectina. Estas estructuras se han estudiado con enzimas que son específicas y por el método cromatográfico de la filtración en gel. La disposición de las cadenas que se da dentro de la molécula de amilopectina aún no está clara. Debido a la pequeña longitud de la cadena ramificada, la amilopectina da un color violeta - rojo cuando se le añade yodo. Bajo las condiciones normales de una titulación potencio-métrica, en lo que la capacidad de yodo es muy pequeña. Sin embargo, la absorción del yodo de la amilopectina ramificada aumenta a bajas temperaturas (Chen, 1990).

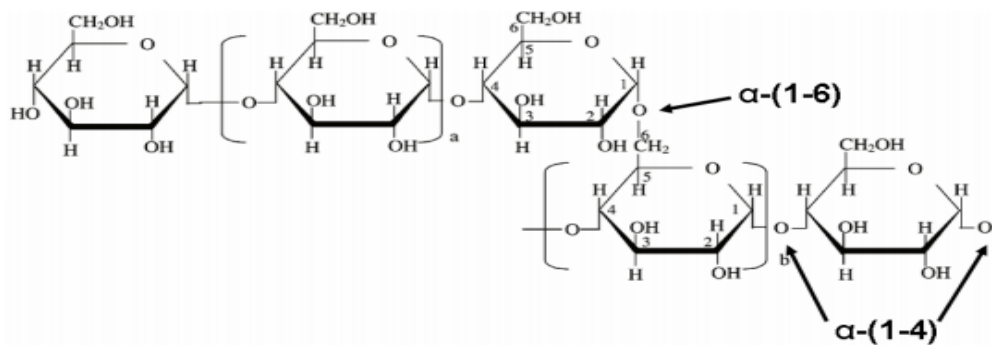


Figura 2. Estructura química de la amilopectina (Tester, Karkalas y Qi, 2004)

2.2.2 Amilosa

La amilosa es un biopolímero que está formado por cadenas de glucosas las cuales están unidas por los enlaces α - 1,4 (Figura 3), estas constituyen el 20 hasta el 30 % del gránulo de almidón en los órganos de almacenamiento y el 4 – 20 % en gránulos que provienen de hojas. El peso molecular está en un orden de 10^5 a 10^6 Da, su ubicación precisa de la amilosa en el gránulo no se ha determinado exactamente, pero ha aconsejado que se esté ubicado en la región menos cristalina es decir en la parte amorfa (Bernal, 2006).

Además, representa el 99 % de su estructura, se ha verificado que algunas ramificaciones que se encuentran unidas por enlaces α (1 - 6), aquellos espacios permiten observar el comportamiento lineal, contiene una masa molar de $10^5 - 10^6$ kDa, de grado de polimerización (GP, cantidad de glucosa que está enlazadas en una cadena). Por la cantidad de amilosa, los almidones son clasificados en distintos grupos: los céreos tienen bajo contenido de amilosa aproximadamente de 1-2 %, los normales contiene 17 a 24 % de amilosa y los elevados tienen el 70 % o hasta más de este dichoso polímero. Su naturaleza es flexible, lineal y de altitud de la cadena de la amilosa, le da una capacidad de envolverse para que forme una estructura helicoidal que consta de 6 unidades de D - glucopiranososa, dentro de la hélice posibilita un ámbito hidrofóbico, que

tiene la disposición de crear complejos con alcoholes o ácidos orgánicos y yodo (Tomas, 2008).

Alayo (2015) menciona que la amilosa es un polímero lineal donde la glucosa está unida en el 1,4 de enlaces α glucosídicos. Además, los almidones con elevado contenido de amilosa mantienen la forma que se le moldea y/o gelifica, en cambio los almidones sin presencia de amilosa no llegan a gelificarse, como los granos de cereal tiene amilosa de 26 a 28 %, las raíces y/o tubérculos de 17 a 23 %. Incluso, se conoce que la amilosa sintetiza por la acción catalítica de la isoforma del almidón sintasa, lo cual está enlazada al gránulo, los estudios en papa y arroz se logró reducir el gránulo que están en forma de anti sentido lo que ocasionaron gránulos de almidón y su contenido de amilosa es reducida. Los mutantes en los cereales se le conoce cerosas porque dan endospermas opacos, son susceptibles en la degradación, en los almidones de papa y de maíz tienen una alta cantidad de amilosa que son resistentes (Bernal, 2006).

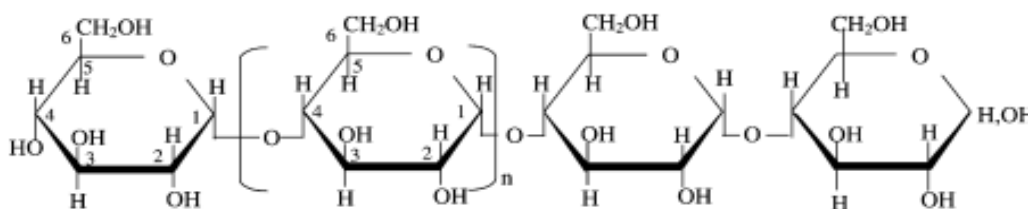


Figura 3. Estructura química de la amilosa (Tester et al., 2004)

2.3 Propiedades termo físicas

2.3.1 Gelatinización

El momento que los gránulos del almidón son colocados al agua fría, se absorbe agua e inmediatamente se comienza a hincharse ligeramente de 10 a 20 %, a causa de la difusión y de la absorción de agua en regiones que son amorfas (están desordenadas). El hinchamiento en una técnica reversible cuando se seca. Cuando los

gránulos del almidón están expuestos al calor y a la humedad, se obtiene un empastamiento que habitualmente se le conoce como gelatinización y es irreversible. Este procedimiento se podría decir que los gránulos de almidón que son sometidos a agua caliente, se hinchan, pero pierden su forma estructural (pierde la birrefringencia), por la fusión de cristales del almidón. Por lo que, la rotura de la estructura del gránulo, hinchamiento, hidratación y la solubilidad de moléculas del almidón, en grupo se forma la gelatinización, curso endotérmico que se da a 55 – 70 °C (Villagra, 2010).

2.3.2 Retrogradación

Guerrero (2014) menciona que la retrogradación es la insolubilización y precipitación que es espontánea, esencialmente de moléculas de amilosa, ya que sus cadenas que son lineales son orientadas paralelamente y accionan entre ellas por el puente de hidrógeno sobre de los múltiples hidroxilos; se ejecuta por diferentes caminos que van a depender de la temperatura y de la concentración del mismo sistema. Si se llegara a calentar la solución de amilosa y se enfriará rápidamente hasta que alcance una temperatura de ambiente se formará un gel rígido y reversible, aunque si se da el caso de que las soluciones sean diluidas, estas se vuelvan lúgubres y se precipitan en el momento que se ha dejado un tiempo en reposo y enfriar de manera lenta. Cada almidón tiene una disposición que es diferente a la retrogradación lo que está vinculada con el contenido de amilosa. La retrogradación está relacionado con el envejecimiento del pan, se le considera básicamente a la asociación de cadenas de amilopectina que están en el gránulo hinchado después de haber perdido una parte de amilosa.

El almidón degradado se obtiene mediante una hidrólisis amilolítica seguida de una desramificación enzimática, donde se utiliza una maltodextrina de equivalente de dextrosa menor a 10 que se obtiene por la degradación de α amilasa con un tratamiento de isoamilasa. Además, menciona que el incremento de AR se da por una

retrogradación a baja temperatura, incluso su utilización es para prevenir o tratar enfermedades digestivas colorrectales (Cerestar, 2002)

Además, las moléculas de la amilosa son inestables, por lo que la retrogradación genera un aumento de turbidez y de precipitación. En su consecuencia, la retrogradación se da porque las moléculas de amilosa se reducen, esto es causado por la disminución de la energía cinética y el movimiento browniano del polímero y de las moléculas de agua. La concentración da como resultado una formación de enlaces de hidrogeno ya sea intra e intermoleculares, estos enlaces son muchos más intensas lo que conduce a la precipitación de las moléculas amilosa en medios acuosos (Tako, Tamaki, Teruya y Takeda, 2014).

El almidón retrogradado permanece en residuos de fibra dietética (FD) determinados analíticamente y contribuye a una sobreestimación del contenido de FD en los alimentos con almidón. Se ha informado previamente un método para medir Almidón Resistente (AR) en residuos de FD. Sin embargo, el verdadero contenido de AR de los alimentos es mayor que el registrado en los residuos de fibra porque solo una fracción de la AR total (amilosa retrogradada) permanece en estos residuos (Goñi, Garcia, Mañas y Saura, 1996).

La tasa de retrogradación aumenta con la concentración de almidón ya que produce menos hinchazón y la desorientación de la estructura cuando aumenta la concentración del almidón. La temperatura tiene un efecto en la tasa como puede ser más baja de 0 a 5 °C, por otro lado, la existencia de los agentes complejos como el alcohol n-butílico reaccionan entre ambos. Aunque la retrogradación del almidón gelatinizado al enfriarse, tiene un efecto negativo en la calidad de los alimentos ricos en almidón, en su almacenamiento a baja temperatura los conduce a la formación de almidón retrogradado o fracción AR tipo III. (Lertwanawatana, Frazier y Niranjana, 2015)

2.4 Tipos de Almidones

El almidón es una de las fuentes básicas de energía para la población mundial. Esto desempeña una base muy importante en la energía metabólica lo que permite que nuestro cuerpo funcione correctamente. El almidón se puede dividir en tres categorías que están basadas en: almidón rápidamente digerible, almidón lentamente digerible y almidón resistente (Buzati y Leonel, 2014)

Según Quiroga (2008) comenta que los almidones constan del almidón rápidamente digeribles (ARD), donde en este tipo el almidón es amorfo, es decir que no tienes forma definida, y se encuentran dispersas en grandes cantidades en alimentos cocidos, como por ejemplo en los panes y en las papas. Se gradúa químicamente como almidón que se transforma a moléculas de glucosa en tan solo 20 minutos de digestión enzimática. El (ALD) que es el almidón lentamente digerible, donde este almidón es asimilado en todo en el intestino delgado, aunque de manera lenta. Pero el almidón en el intestino grueso puede estar fermentado a causa de la microflora del intestino, actualmente se denomina como una fracción de fibra dietética. Se mide con la variación del almidón total (AT) que es el resultado de la homogeneización y el método químico de la muestra, con la ARD y ALD que son obtenidos de lo que no se ha homogeneizado y métodos enzimáticos de la muestra en sí.

Sin embargo, está presente en forma semi cristalina en los plástidos de la célula vegetal. El almidón se digiere en diferentes formas de acuerdo con la estructura del almidón. Hay tres categorías: 1) Almidón de digestión rápida, que puede ser digeridos y absorbida por vía oral y en el intestino delgado rápidamente (Tiempo de digestión < 20 min); 2) Almidón de digestión lenta, que puede ser digeridos en el intestino delgado (el tiempo de digestión entre 20 y 120 min); 3) Almidón resistente (AR), que se refiere al almidón que no pueden ser digeridos o absorbidos en el intestino delgado (Tiempo de digestión > 120 min) (Gao, Huang, Dong, Yang y Yi, 2016).

2.5 Almidón Resistente

Koteswara et al. (2014) mencionan que el almidón resistente (AR) es uno de los hidratos de carbono de origen natural, que se define como la suma de almidones y sus productos de degradación que no pueden ser digeridos en el intestino delgado de los seres humanos y cuando alcanzan en el intestino grueso, se somete a la fermentación. Incluso tiene una función fisiológica, como ingrediente funcional para reducir el riesgo de enfermedades relacionadas con la dieta, además, el AR en comparación con las fibras insolubles también tienen muchas características favorables para la industria alimentaria. Las fuentes principales que producen el almidón resistente son los granos de cereales, raíces, tubérculos y legumbres, que, mediante los métodos de calentamiento, esterilización en autoclave y extrusión cíclica, procesos de gelatinización y de enfriamiento, son los métodos comunes utilizados para mejorar la formación de AR tipo III (almidón retrogradado).

Los alimentos crudos y procesados contienen cantidades apreciables de AR, dependiendo de la fuente botánica del almidón y el tipo de procesamiento. La relación amilosa / amilopectina, la forma física, el grado de gelatinización, los tratamientos térmicos, el enfriamiento y el almacenamiento afectan el contenido de AR de los alimentos (Goñi et al., 1996).

La cantidad de AR depende principalmente de su origen botánico, donde se determina las variables más importantes: la amilosa, la amilopectina, el tipo, la disposición de las estructuras cristalizadas de amilosa, los pesos moleculares medios y distribución de la cadena de longitud del componente (Morales, Muño, Guadix y Guadix, 2014). Sin embargo, se puede aumentar el contenido de AR en diversos alimentos con la variación de la temperatura, pH y tiempo en los ciclos calentamiento/enfriamiento, congelación/secado (Sajilata, Rekha y Pushpa, 2006).

Se define como “almidón y productos de degradación de almidón que no se absorben en el intestino delgado de los seres humanos sanos”. Su formación se da por un requerimiento de una longitud de cadena mínima de 30 a 40 unidades de glucosa, y la cadena de amilosa fomenta la formación de almidones resistentes, además la presencia de lípidos impide la producción debido al complejo almidón-lípido que se crea. Aunque el contenido de amilosa está vinculado con el AR, ya que cuanto mayor sea el contenido de amilosa elevado será la cantidad de AR, además su cantidad también dependerá del efecto térmico que se le somete, no sólo al tipo de alimento que se analice (Aguilera, 2009).

Por otro lado, el almidón resistente incluye a la porción de almidón que resiste a la digestibilidad de la amilasa pancreática en el intestino delgado y, por lo tanto, llegar al colon, el comportamiento general del almidón resistente está basada fisiológicamente similar a la fibra soluble y fermentable como en el caso de la goma guar. El almidón resistente está en muchos alimentos que son comunes, incluyendo a los granos, cereales, vegetales especialmente en las papas, legumbres, semillas y algunos frutos secos (Fuentes et al., 2011).

Jiménez, González, Magaña y Corona (2011) aluden que los AR han adquirido importancia en la parte nutricional el cual está vinculado con la disminución en el consumo de calorías e índice glicémico, que conlleva a la precaución de enfermedades cardiovasculares. En consecuencia, sugieren además que los alimentos con almidón cocido al horno deben contener al menos 14 % de AR en almidón total (Giuberti, Marti, Fortunati y Gallo, 2017).

El AR es el almidón no digerible, que puede resistir la digestión por el α -amilasa y actúan como fibras dietéticas, que ayuda a promover el crecimiento de bacterias benéficas en el intestino (Lertwanawatana et al., 2015).

Aunque, al ingresar al colon, el AR se somete a un alto grado de fermentación anaeróbica por el microbiota local de acuerdo a la variedad de productos. Estos productos incluyen gases (hidrógeno, metano, y dióxido de carbono) y ácidos grasos de cadena corta (acetato, propionato, y butirato). El butirato es el ácido graso predominante de cadena corta producido a partir de AR (Fabbri et al., 2016).

El pequeño tamaño del almidón resistente pasa al colon, es ahí donde se hace la fermentación por los microorganismos que se da principalmente por el ácido graso de la cadena corta (AGCC). Por lo que el almidón resistente contiene propiedades funcionales, efectos que son positivos en la diabetes, cáncer, enfermedades cardiovasculares, en el colon y osteoporosis (Buzati y Leonel, 2014).

Sin embargo, la función fisiológica de AR es similar a la fibra dietética, ya que puede retrasar la glucosa en la sangre y la insulina, también puede reducir la concentración de colesterol y triglicéridos (Gao et al., 2016).

Se cree que el AR tiene un efecto positivo sobre el control y prevención del cáncer de colon, donde se observa que en los pacientes con cáncer colorrectal después de su consumo de 40 g/día de AR por 2 - 4 semanas (Perera, Meda y Tyler, 2010).

Wang, Tang, Chen y Huang (2014) indican que el AR tiene efectos fisiológicos similares a los de prebióticos y fibra dietaría: AR estimula el crecimiento de bacterias benéficas en el intestino y aumenta la producción de ácidos grasos de cadena corta asociados con la función inmune y modulación del microbiota. Incluso, el AR protege contra varias enfermedades, incluyendo la diabetes de tipo II, el cáncer colorrectal, y otras enfermedades crónicas relacionadas con la dieta.

Además, el AR tiene el beneficio de la disminución de glucosa en el plasma y la insulina, y conduce a un aumento de la masa fecal y la producción de ácidos grasos de cadena corta más por fermentación en el intestino grueso, incluso mejora el control de la obesidad y la diabetes, debido a que reduce el riesgo de enfermedad cardiovascular.

Además, como un ingrediente alimenticio funcional, el AR tiene propiedades fisicoquímicas deseables tales como el color blanco, la formación de gel, la elevación de la viscosidad y la capacidad de absorción de agua (Li, Xu, Zhang, Ding y Gu, 2017).

Se han empleado muchos procedimientos que implican transformaciones enzimáticas físicas, químicas y para alterar las propiedades de almidón, que mejoran atributos de salud y/o minimizan los defectos en la estructura. Además, se han intentado mejorar los rendimientos del AR por: 1) tratamiento por calor y humedad y el recocado, 2) tratamiento enzimático, 3) tratamiento térmico/enzima combinada y 4) tratamiento químico (Lertwanawatana et al., 2015).

2.5.1 Tipos de Almidones Resistentes

Existen cuatro tipos de AR: tipo I: almidón inaccesible dentro de todo o parcialmente molidas semillas; tipo II: almidón granular nativo, que consta de gránulos no gelatinizado; tipo III: almidón retrogradado producido por las aplicaciones de procesamiento de alimentos (Figura 4) y por último, tipo IV: almidón químicamente modificado (Wang et al., 2014).

Sajilata et al. (2006) afirman que los AR son inalcanzables por las enzimas del cuerpo y se dividen en cuatro tipos: El AR tipo I, son almidones que son físicamente inalcanzables, estos se encuentran básicamente de almidón lo que no han sido fragmentados o refinados, en su mayoría se encuentran en las legumbres y en algunos otros cereales. En las legumbres tiene una característica por contener paredes celulares gruesas, pero no son alborotadas durante la elaboración de alimentos y también en el estómago. En el caso de los cereales, cuando estas no están finamente molidas pueden ocasionar una aparición en el final del intestino delgado. El AR tipo II, son almidones nativos que resisten a la digestión enzimática, mayormente en los almidones de tipo B. Tiene una estructura que limita la accesibilidad de enzimas que son digestivas. Se utiliza en método químico como la diferencia entre la glucosa que es

liberada a causa de la digestión enzimática de un alimento que es homogeneizada y es hervida, y otra que no es homogeneizada y no hervido. El almidón nativo de la papa es una base de AR, pero a la vez es fácil de gelatinizar con agua a 60 °C aproximadamente.

El AR tipo III, son muy resistentes a la digestión a causa de las amilasas pancreáticas. La retrogradación sucede cuando los almidones son gelatinizados, después son enfriados o que estén a una temperatura de ambiente, ya sea en el caso de las papas cocinadas y también las enfriadas. Su retrogradación puede llegar a afectar a los alimentos que son cocidos y no secados o no consumidos. Diversos ciclos de recalentamiento y de enfriamiento incrementan la cantidad de AR tipo III, se mide de la misma manera química como la fracción de lo que resiste a la separación ya sea por elevada temperatura o por digestión enzimática, podría ser esparcido solo con hidróxido de potasio o sulfóxido de dimetilo. En la actualidad los AR tipo III suelen estar disponibles en el comercio para que sea introducido por ejemplo en el pan, galletas, productos lácteos. El AR tipo IV, estos son almidones que son modificados químicamente y que han sido sometidos últimamente a la clasificación de los AR. Las modificaciones que mayormente se realiza por esterificación y entrecruzamiento. Los almidones AR tipo IV, son utilizados como ingredientes en alimentos que están procesados tales como suplementos para bebés y sopas. Aun en algunos países el consumo de este tipo de almidón está prohibido (Quiroga, 2008).

El AR es definido como una porción de almidón y productos de almidones que resisten a la digestión, que pasa en forma directa a través del intestino delgado. El AR se puede clasificar en cuatro tipos: El AR tipo I, es el almidón es físicamente cubierto por enzimas digestivas en granos que no ha finalizado su molienda. La AR tipo II, son referidos a almidones que se encuentran en gránulos cristalinos menos estables y compactos y que son ligeramente resistentes a la hidrólisis. La AR tipo III, es donde el almidón esencialmente la amilosa que se ha retrógrado en las estructuras cristalinas que son más estables, se le considera como el más resistente al calor sobre los 100 °C

y los procesos siguientes. La categoría AR tipo IV es cuando el almidón que ya ha sido modificado donde se ha utilizado reactivos químicos (Fabbri et al., 2016).

Asimismo, el AR tipo III, tiene una importancia como ingrediente alimentario debido a su funcionalidad y procesamiento de estabilidad física y nutricional. Sin embargo, varios factores influyen en la calidad y cantidad de AR tipo III; además, las condiciones de almacenamiento (amilosa y amilopectina), la longitud de las cadenas de polímero o grado de polimerización, la retrogradación o recristalización de amilosa, contenido de agua, pasos de procesamiento/condiciones, y la presencia de lípidos y otros componentes en la gelatinización y/o proceso de retrogradación (Lertwanawatana et al., 2015).

Por otra parte, el AR tipo I y AR tipo II son formas de almidón con una digestión muy lenta e incompleta en el intestino delgado; se convierten en almidón no resistente por un tratamiento adecuado (molienda, ebullición, calentamiento o simplemente triturado). Por otro lado, el AR tipo III su producción puede ser realizada por procesos térmicos o enzimáticos. Hay dos pasos principales involucrados en la producción de AR tipo III, mediante tratamientos térmicos como la gelatinización y retrogradación (Morales et al., 2014).

Además, los gránulos de almidón en los alimentos crudos que son resistentes a la digestión comprenden de AR tipo II, donde se mide como la diferencia entre la cantidad de glucosa liberada por pancreatina y amiloglucosidasa, después de 120 min de hidrólisis. El almidón retrogradado formado durante el enfriamiento de almidón gelatinizado se denomina AR tipo III (Perera et al., 2010).

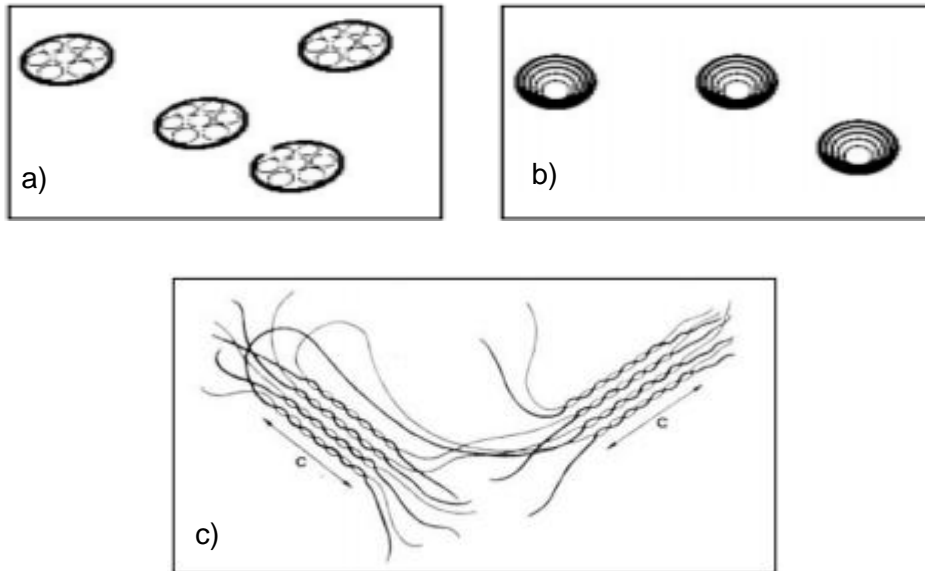


Figura 4. Estructura del Almidón Resistente Tipo I (a), Tipo II (b) y Tipo III (c) (Sajilata et al., 2006)

2.5.2 Aplicación del almidón resistente en la industria alimentaria

Sajilata et al. (2006) mencionan que el almidón resistente es de pequeño tamaño, tiene una apariencia blanca y un sabor suave, tiene una baja capacidad de retención de agua, posee propiedades físico químicas que son deseables en la industria alimentaria las cuales son el hinchamiento, elevación de la viscosidad, formación de gel y capacidad de unión de agua, estas propiedades hacen que los almidones resistentes tomen el lugar de la harina sin alterar el manejo de la masa o de la reología. Tiene una alta temperatura de gelatinización, propiedades de extrusión muy buenas y la formación de películas. Da la formación de productos con un alto contenido de fibra con bajo volumen con una buena textura, apariencia y sensación en el gusto como las cualidades organolépticas a comparación de los productos que son tradicionales con una alta cantidad de fibra; son ingredientes funcionales que disminuyen su valor calorífico en todos los alimentos y muy útiles en productos para las personas que son celíacas, como los laxantes a granel, y en productos para terapia de rehidratación oral. Algunas de las propiedades del almidón resistente han sido muy utilizado en productos horneados y extruidos.

Los alimentos que son ricos en almidón resistentes son recomendables para controlar los niveles de azúcar en la sangre, por su índice de glicémico bajo, estos son para la ayuda de los diabéticos y para los que deseen bajar de peso (Loor, 2008).

Además, el almidón tiene uso en la industria alimentaria y no alimentaria, donde desarrolla una colaboración energética, en la textura y propiedades organolépticas que son utilizados en los alimentos, pero se destaca su elevada capacidad en la gelificación. Los alimentos que tienen almidón son las semillas que entre ellas está el trigo, maíz, arroz y cebada, pero en las raíces también se encuentran como la papa y la mandioca. Sin embargo, los almidones modificados químicamente se llegan a utilizar en pocas cantidades como aditivos, entre estos se encuentran los espesantes, agentes de recubrimiento, estabilizantes, emulgentes y gelificantes, debido a que estos influyen en las propiedades físicas. Pero en la industria golosinera solo se utilizan almidones no gelatinizados, en espesantes se utilizan los almidones modificados con fosfato, donde se producen alimentos precocinados e instantáneos donde son están los tipos de pudines y cremas frías (Aguilera, 2009).

Cerestar (2002) corrobora que los alimentos que contienen almidones resistentes, no se consumen debido a que están en estados no digeribles directos. De modo que se puede apreciar elevadas cantidades de AR en los frutos en estado pre climatérico, frutos con cáscara totalmente verdes, con texturas rígidas y actividad metabólica baja, del mismo modo en el caso de las leguminosas, semillas y tubérculos se aprecia cuando están en su estado nativo (Jiménez et al., 2011). Pero el contenido de AR depende mucho de los factores de preparación, donde interviene el calentamiento y enfriamiento/congelamiento, que acentúan significativamente la cantidad de AR retrogradado (Rodríguez, 2013). En cuanto a la cantidad utilizada de AR en los productos alimentarios, como por ejemplo en los productos lácteos, las galletas, pan tostado, etc.; sólo suele utilizarse un 10 % (p/p) de AR en su preparación, pero debería llegar a utilizarse 20 % (p/p) (Cerestar, 2002).

2.6 Tunta o chuño blanco

2.6.1 Origen y definición

La tunta es un alimento que tiene un color blanco y una superficie áspera con hendiduras (Figura 5) que se obtiene de papas nativas amargas, las cuales pasan por un proceso de deshidratación a través de la congelación, incluso con un lavado en el río por sumergimiento y un secado por exposición al sol. Pero este proceso tradicional es realizado por agricultores que están en el altiplano (Guidi, Esprella, Aguilera y Devaux, 2002; Norma Técnica Peruana [NTP], 2007).

Jallaza (2007) alude que la tunta es un alimento de calidad, tanto así que es valorado en el Perú y es usado en la elaboración tradicional de alimentos. La resistencia que tiene la tunta y el alto contenido de calorías en comparación con la papa fresca, hace que este producto sea un alimento importante para la seguridad alimentaria de las familias, por su contenido de almidón que se puede digerir fácilmente en nuestro organismo, es sugerible como alimento para niños y en otras dietas, que necesitan alimentos nutritivos de fácil asimilación.

Por otra parte, la producción de la tunta es principalmente en el departamento de Puno con un 70 % de producción nacional, pero existe otros departamentos en las cuales está distribuido el 30 % restante, estos son Apurímac con un 2 %, Junín 8%, Huancavelica 2 %, Ancash 3 % y Cuzco 15 % (Julca, 2016). Además, la tunta se produce a altitudes de más de 4000 msnm durante el invierno al exponer, al tubérculo a temperaturas heladas, radiación solar y al agua que fluye del río. Este proceso produce un alimento básico, deshidratado y altamente nutritivo (Peñarrieta et al., 2015).



Figura 5. Tunta para la venta (Fonseca et al., 2011)

2.6.2 Valor nutricional

La tunta tiende a destacar por su composición nutricional, principalmente por la concentración de carbohidratos (Ramos, 2007), incluso tiene un elevado valor calórico y mayor resistencia al tiempo, en comparación con una papa fresca, que resulta ser un producto estratégico para dar bienestar a muchas familias, debido a que tiene un almidón de fácil digestión, además se recomienda para la alimentación de niños y otros que requieren una alimentación sencilla en asimilación. Pero por efecto de lixiviación, la papa que es convertida en tunta, degenera su cantidad de vitamina C, por ser hidrosoluble y provoca un incremento en el contenido de calcio y de hierro, lo cual se puede observar en la Tabla 1 (Jallaza, 2007).

Tabla 1. Composición nutricional de la Tunta por 100g (Tablas Peruanas de Composición de alimentos, 2009)

Composición	Cantidad
Energía (Kcal)	323
Agua (g)	18.1
Proteína (g)	1.9
Grasa (g)	0.5
Carbohidrato (g)	77.7
Fibra (g)	2.1
Ceniza (g)	1.8
Calcio (mg)	92
Fósforo (mg)	54
Hierro (mg)	3.3
Retinol (mg)	-
Tiamina (mg)	0.03
Rivoflavina (mg)	0.04
Niacina (mg)	0.38
Ácido ascórbico (mg)	1.1

2.6.3 Calidad

El resultado de que la tunta sea de buena calidad, es de acuerdo a las condiciones y los procesos en la cual es necesaria la experiencia y las prácticas campesinas que la realizan, es por eso que la calidad comercial de la tunta está basada en varios criterios mostrados en la Tabla 2. Por lo cual, el comerciante y el consumidor antes de comprar el producto, es importante que tenga en consideración su color, tamaño, peso y olor (Julca, 2016).

Además, Fonseca y Ordinola (2017) corroboran que la tunta tiene 14 – 16 % de humedad, que pueden ser redondos o alargados (según la variedad de papa utilizada). Incluso, tienen una alta concentración de almidón (80 %) y fibra (20 %) y es rico en calorías y minerales (calcio y hierro); las variedades más comúnmente empleadas son

las nativas dulces llamadas Imilla, y las variedades agrias como la Locka. También se usan otras variedades contemporáneas, como el Ch'aska.

Tabla 2. Criterios de calidad para el chuño blanco (Julca, 2016)

Criterios	Chuño blanco de alta calidad
Color	Blanco
Tamaño	Grande
Peso	Menor
Olor	Ligero
Sabor	Agradable
Rehidratación	Rápida

Ramos (2007) indica que las características básicas de la tunta son:

- **Forma:** Puede ser de forma redonda o alargada, de acuerdo a su variedad de la papa que ha de utilizar.
- **Color:** Se prefiere un color blanco intenso, se puede extender hasta un blanco - mate, no debe de haber manchas amarillentas o de color oscuro.
- **Olor:** Este atributo es importante ya que el olor de unos alimentos contribuye al placer al momento de comer, es por eso que debe de tener un olor suave, no debe de tener olor desagradable.
- **Rehidratación:** Se refiere al tiempo se tiene que remojar con el objetivo de ablandar y se pueda cocinar fácilmente, esto puede durar aproximadamente 10 minutos hasta media hora.
- **Textura y sabor:** Su textura es esponjosa y suave, mayormente nativas, en el sabor, debe ser agradable, un poco insípido, para que permita la combinación con comidas fuertes

2.6.4 Proceso tecnológico de la tunta

La producción de la tunta se realiza principalmente en mayo hasta los últimos días de julio, debido a que en estas fechas la temperatura es la más baja en todo el año, es

decir llega de 5 °C o menos (a esa temporada se le llama “época de heladas”). También, en estos meses hay una elevada radiación solar, muy poca nubosidad y menor humedad relativa (> 40 %); estos factores favorecen en el congelado y el secado de la papa que se transforma en tunta (Ramos, 2007). Asimismo, en el proceso de congelación y remojo de la papa se da durante un mes, después se realiza un pelado, para así obtener un tubérculo deshidratado con un color blanco de forma redonda y/o alargada, incluso con un olor característico. Además, el consumo de la tunta da un valor agregado a la papa nativa de tipo amargo, los que se utilizan con frecuencia son: el *Solanum ajanhuiri*, *S. juzepczukii* y *S. curtilobum*, las cuales son muy resistentes al frío, ya que tienen elevada cantidad de glicoalcaloides, que son eliminados en la producción de la tunta debido a la exposición prolongada de los tubérculos a la corriente de río y el pisoteo. Una vez seco, y con un cuidado mínimo en el almacenamiento, el producto final llega a durar muchos años, por ende, la demanda del mercado de chuño blanco de alta calidad ha aumentado durante la última década y ha llevado a la aplicación de sistemas más estandarizados de control de calidad (Fonseca et al., 2011; Haan et al., 2011).

Las comunidades que se dedican a producir la tunta desarrollaron una estrategia para convertir las papas amargas en un alimento sabroso, y todavía esto se refleja en las costumbres de los andinos modernos cuando recolectan tubérculos silvestres. Después de tres o cuatro días, los campesinos pisan las papas quitando la humedad y las pieles, manteniendo siempre las papas alejadas de la luz solar. Luego, las papas semisecas se almacenan durante tres semanas en un hoyo llamado "tajana" (agujero de aproximadamente 5 m de profundidad en el borde de un río y forrado con piedras y pajas), plasmado en la Figura 6, seguidamente las tuntas se secan esparcidas en la tierra cubiertas por mantas durante tres semanas y finalmente las tuntas secas están listas para el consumo (Peñarrieta et al., 2015; Arntzen, sf).



Figura 6. Procedimiento de elaboración de la Tunta (Haan et al., 2010)

2.7 Chuño o chuño negro

2.7.1 Origen y definición

Se había encontrado chuño a la cercanía del lago Titicaca, pero desapareció en el siglo XII, esto dio una idea de continuidad en la elaboración tradicional del chuño para una prolongación de tiempo del alimento en los Andes. Pero la elaboración del chuño, fue dada hace muchos años atrás, por culturas prehispánicas del área andina, con el propósito de almacenar los tubérculos de papa para una larga conservación, por un tiempo de seis meses aproximadamente (Quispe, 2009). Sin embargo, en la actualidad las papas amargas, que se cultivan en las alturas, debido a su resistencia a las heladas, sirven para la producción del chuño, la cual se realiza en los meses de junio y julio cuando ocurren fuertes heladas durante la noche. Según el calendario Inca, la noche del 24 de junio es el momento en que se supone que las heladas más pesadas del año caen y los agricultores usan esta fecha para comenzar su producción del chuño. En esta fecha es donde su elaboración al aire libre aprovecha la baja humedad relativa, las condiciones alternas de las heladas y la alta radiación solar. Incluso las poblaciones andinas usan la liofilización tradicional como una tecnología de procesamiento lista y confiable para preservar los tubérculos durante períodos prolongados y para

proporcionar alimentos durante períodos de escasez (Burgos, Haan, Salas y Bonierbale, 2009)

Asimismo, Jallaza (2007) alude que el chuño es el resultado de una congelación, trillado y recongelación, donde el producto no se sumerge al agua, sino que al terminar la congelación y el trillado se pone a secar al sol, para que se convierta en chuño, pero a causa de la fricción con la atmosfera donde se produce una oxidación, da un color característico que va del color marrón oscuro hacia un color negro (Figura 7). Sin embargo, un producto que es de buena calidad, son los que se realizan a partir de tubérculos pequeños de distintas variedades de papas, además su proceso necesita de menor cuidado. No obstante, Christiansen y Thompson (1971) indican que las papas amargas no eran aceptables para el consumo, pero eran buenas para la producción del chuño. La posibilidad de almacenar "papas amargas" durante varios años en forma de chuño los convierte en una importante fuente de proteínas y calorías. En la actualidad, se cultivan cientos de variedades de este popular tubérculo en todo el mundo, que difieren en textura, sabor, forma, color y contenido mineral (Zn, Fe, Ca, K, P, Mg y Na), por lo tanto, son idóneas para el consumo (Miranda y Aguilera, 2006; Haan et al., 2009).



Figura 7. Chuño para la venta (Jallaza, 2007)

2.7.2 Valor nutritivo

Se describe la composición nutricional del chuño por 100 g en la Tabla 3. Pero se ha informado que el contenido de proteína en el chuño es mayor que de la tunta, pero se pierde de 18 a 41 % de la proteína durante la elaboración del chuño (Burgos et al., 2009).

Tabla 3. Composición nutricional del chuño por 100 g (Tablas Peruanas de Composición de alimentos, 2009)

Composición	Cantidad
Energía (Kcal)	333
Agua (g)	14.1
Proteína (g)	4
Grasa (g)	0.2
Carbohidrato (g)	79.4
Fibra (g)	1.9
Ceniza (g)	2.3
Calcio (mg)	44
Fósforo (mg)	203
Hierro (mg)	0.9
Retinol	-
Tiamina (mg)	0.13
Rivoflavina (mg)	0.17
Niacina (mg)	3.40
Ácido ascórbico (mg)	1.7

2.7.3 Calidad y tamaño

Se desarrolla la base de los precios del chuño, de acuerdo a los cuatro tamaños diferentes presentados en la Tabla 4, los cuales son primordiales para la calidad del producto. Cuanto mayor sea el tamaño del chuño, mayor será el precio que se pagará, debido a que los consumidores prefieren comprar el chuño más pequeños, porque su sabor es mejor ya que absorben la humedad de manera más equilibrada (Figueroa, 2009).

Tabla 4. Calidad y tamaño del chuño según su calidad (Figuroa, 2009)

Calidad	Tubérculos redondos	Tubérculos largos
1 ^{ra}	Diámetro mayor a 4cm	Diámetro mayor a 3cm
2 ^{da}	Diámetro de 3-4cm	Diámetro de 2.1-3cm
3 ^{ra}	Diámetro de 2-2.9cm	Diámetro de 1.5-2cm
4 ^{ta}	Diámetro menor a 2cm	Diámetro menor a 1.5cm

2.7.4 Proceso tecnológico del chuño

En el proceso de la chuñificación, las variedades de papas amargas utilizadas para la producción son Moroko luky, Wila torillo wajra, Peraza, Chojlla, Wila luky, Pinku luky y Ketu (Oropeza, 2008), donde este proceso se realiza en altitudes que van desde los 3850 a los 4350 msnm. Estos tubérculos primero son expandidos en el suelo y son cubiertos por pajas, para que se congelen por la misma temperatura helada del ambiente (aproximadamente por tres noches). Cuando ya estén congelados, se procede a retirarlos del lugar, para ser expuestos a la eliminación del líquido por pisoteo (deshacer la poca agua que contienen los tubérculos), luego otra vez se congelan y finalmente se seleccionan dependiendo de su calidad. El proceso de la chuñificación permite que la papa se conserve de diez a más años, esto muestra un plan estratégico en la alimentación rural de las regiones alto andinas. Incluso, se utiliza comúnmente para minimizar el contenido de agliconas de los tubérculos amargos (Jallaza, 2007; Burgos et al., 2009). Pero en este proceso también existen pérdidas fenólicas (Andre et al., 2014).

Haan et al. (2010) añaden que el procesamiento del chuño es generalmente la propagación, pisada, congelación y secado (Figura 8). Donde su capacidad de almacenamiento a largo plazo del chuño proporciona una importante red de seguridad nutricional para los pequeños agricultores durante períodos de relativa escasez de alimentos.



Figura 8. Proceso de elaboración del Chuño (Haan et al., 2010)

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de ejecución

El trabajo de investigación se realizó en los siguientes laboratorios:

- Laboratorios del Centro de Investigación de Tecnología de Alimentos (CITAL), el Centro de Investigación en Ciencias de Alimentos (CICAL) y en el laboratorio de Procesos, en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión.
- Laboratorio de Análisis de Alimentos en la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).
- Laboratorio de Física Intermedia y Avanzada en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI).

3.2 Materia Prima

En el presente estudio se utilizó la tunta y el chuño, fueron adquiridas de la región Puno, provincia Azángaro, distrito Santiago de Pupuja, cultivados en el campo de la comunidad Pupuja perteneciente al Sr. Jhon Quilmer Sholay, dicho lugar tiene una altura fría – seca de 3800 m.s.n.m. Ambos tubérculos son cultivados bajo chaquitacla y crecen produciendo dichas papas para luego ser congelados donde el clima puede variar desde -10 a 18°C.

3.3 Materiales y equipos

3.3.1 Materiales

- Cubeta de espectrofotómetro
- Matraz Erlenmeyer, Marca: Pyrex, Cantidad: 50 ml
- Mortero de laboratorio
- pH metro

- Pipetas de 1ml y 10 ml
- Pizeta
- Placas Petri
- Probetas de 50 ml y 100 ml
- Tamiz de acero inoxidable, Marca: Test Sieve, malla 100
- Termómetro
- Tubo de Centrifuga de 14 ml y 500 ml
- Tubo de ensayo
- Vaso precipitado, Cantidad: 100 ml, 250 ml y 2000 ml

3.3.2 Reactivos

- Ácido Clorhídrico (HCl) 2M (Marca: Merk)
- Agua Destilada
- Hidroxido de sodio (NaOH) (Marca: CDH)
- Buffer pH 4 (Marca: CDH)
- Buffer pH7 (Marca: CDH)
- Enzima amilogucosidasa (Marca: Polifood)
- Etanol 99.5 % (Marca: Merk)
- Reactivo Glucosa GOD-PAD (glucosa oxidasa y enzima peroxidasa) (Marca: Valtek)
- Hidróxido de Potasio (KOH) 4M (Marca: Solutest-Lab.Chem)
- Lugol (I2/IK) (Marca: BiogenicsLab)
- Pepsina (Marca: BiogenicsLab)

- Solución dimetilsulfóxido (DMSO) (Marca: CDH)
- Sulfato de amonio ((NH₄)₂SO₄) 3.2 M (Marca: Solutest-Lab.Chem)
- α-amilasa (Marca: Polifood)

3.3.3 Equipos

- Agitador magnético, Marca: Hanna
- Balanza analítica, Marca: Pionnerse, Modelo: Item PA21, Capacidad: 210 g.
- Baño María, Marca: Hanna.
- Calorímetro Diferencial de Barrido, Marca: Perkin Elmar DSC 7
- Centrifuga, Marca: Greetmed, Modelo: GT119-200.
- Desecador de campana
- Difractómetro de Rayos X (Software Xpert highscore plus), Marca: ADX-2700
- Espectrofotómetro, Marca: MOD-UV 721
- Estufa, Marca: Memmert, Serie: C2100706
- Molino de hojas, Marca: Willye
- Molino de martillo, Marca: Innova, Modelo: NBR7094
- Secador de bandeja, Marca: Innova, Modelo: QB-60

3.4 Metodología Experimental

3.4.1 Elaboración de harinas

Se trituró la tunta y el chuño en un molino de martillo, luego se procedió a elaborar la harina en un molino de hojas Tipo Willye y se finalizó tamizando en un tamiz de malla 100. Se siguió la metodología de Jiménez et al. (2011).

3.4.2 Análisis proximal de las harinas

Se realizó según el método A.O.A.C (2005), los análisis proximales del contenido de humedad, proteína total, grasa, fibra cruda, ceniza y carbohidratos de las harinas de tunta y chuño.

3.4.3 Aislamiento de almidón total

Para la obtención de almidón total, se utilizó la harina de tunta y chuño se empleó la metodología de Sosa y Maquera (2013) la cual se muestra en la Figura 9. Se pesó 15 gr de harina de chuño y de tunta, luego se mezcló cada una de las harinas con la solución de NaOH a diferentes concentraciones (0.20, 0.225 y 0.25%), esto se realizó a temperatura ambiente con una relación de 1:3 (harina: solución). La solución acuosa se agitó manualmente durante 10 min. La muestra obtenida, se dejó en maceración por 24 horas a temperatura de refrigeración. Después de completar la sedimentación, se procedió a decantar el sobrenadante. El almidón obtenido fue sometido a un lavado con agua destilada para eliminar mayor cantidad de impurezas y obtener un color adecuado, esta operación se realizó cinco veces. Posteriormente, se centrifugó a distintas velocidades (2500, 3500 y 4500 RPM) por 15 min cada uno, para eliminar el agua utilizada en el lavado. Seguidamente, el almidón precipitado se colocó en placas Petri, para secarlo en un secador de bandeja a 50 °C por 12 horas, finalmente se pulverizó con un mortero hasta obtener almidón con gránulos finos y se tamizó en una malla 100.

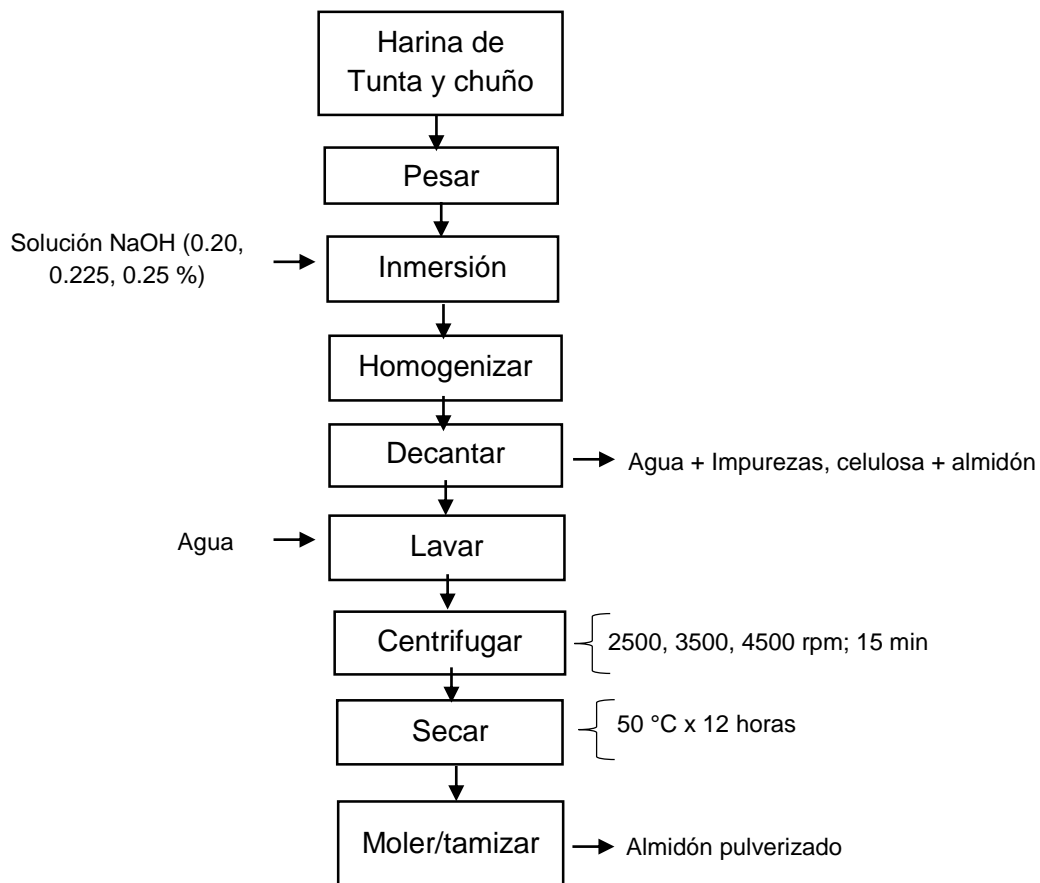


Figura 9. Proceso de aislamiento de almidón total de la tunta y chuño

3.4.4 Caracterización de almidón de la Tunta y Chuño

3.4.4.1 Propiedades Físico-químicas

Las propiedades físico-químicas fueron analizadas en el mejor tratamiento de cada almidón.

3.4.4.1.1 Análisis proximal

Se realizó el análisis proximal de la humedad, proteína, grasa, fibra, ceniza y carbohidratos del almidón total de tunta y chuño, según el método A.O.A.C (2005).

3.4.4.1.2 Determinación de claridad de los geles

Para determinar la claridad de los geles se empleó la metodología propuesta por Bello, Contreras, Romero, Solorza y Jiménez (2002). Se preparó suspensiones con 0.2

g de almidón y 5 ml de agua desionizada (por triplicado). Se utilizó vasos precipitados de 20 ml, los cuales se calentaron en baño amarilla a 95 °C por 30 min, donde cada 5 min se agitó manualmente. Luego los vasos precipitados se dejaron enfriar a temperatura ambiente, se determinó el porcentaje de transmitancia (% T) a 650 nm en el espectrofotómetro, y se utilizó agua como blanco.

3.4.4.1.3 Índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA) y poder de hinchamiento (PH)

Se empleó la metodología descrito por Peña (2017). Se pesó 0.6 g de almidón extraído (M_0), el cual se mezcló con 30 ml de agua destilada y se agitó, después se colocó en un baño maría a 60 °C durante 30 min con una agitación constante cada 10 min, al iniciar el calentamiento. Luego se enfrió a temperatura de ambiente y se centrifugó a 5000 RPM por 30 min. Posteriormente, el sobrenadante se retiró y se colocó en placas Petri, para proceder a secarlo a 90 °C por 4 hrs hasta que alcance un peso constante (M_2). Además, se tomó el peso del sedimento de almidón hinchado (M_1).

Todos los cálculos se realizarán mediante las ecuaciones siguientes:

$$IAA = \frac{M_1(g)}{M_0(g)} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 1)}$$

$$ISA (\%) = \frac{M_2(g)}{M_0(g)} \times 100 \dots\dots\dots \text{(Ecuación 2)}$$

$$PH = \frac{M_1(g)}{(M_0 - M_2)(g)} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 3)}$$

3.4.4.1.4 Contenido de amilosa

Para el análisis de contenido de amilosa se empleó la metodología planteada por Miranda, Marruego y Montero (2013). Se pesó el almidón extraído (80 mg) colocándolo en un tubo, donde se añadió 10 ml de solución urea - DMSO (dimetilsufóxido) con una agitación constante, se secó la muestra a 100 °C por 1 h, seguidamente se tomó 0.5 ml de la solución con un pesado posterior, adicionando 25 ml de agua destilada y 1 ml de Lugol. Posteriormente se realizó una lectura por absorbancia (espectrofotómetro UV) a

635 nm, para obtener el contenido de amilosa total. Por último, se calculó el valor azul y el porcentaje de amilosa mediante las siguientes formulas:

$$\text{Valor azul} = \frac{\text{Absorbancia} \times 100}{2 \times \text{g de solución} \times \text{mg almidón}}$$

$$\% \text{ de amilosa} = 28.414 \times \text{valor azul} \dots \text{(Ecuación 4)}$$

3.4.4.1.5 Contenido de amilopectina

Se calculó la amilopectina con una diferencia de 100 % y con los resultados se realizó una comparación con la medición de los almidones calibrados, los cuales son almidones solubles, con respecto a la absorbancia y concentración, sugerido por Miranda et al. (2013).

3.4.4.1.6 Colorimetría

El color de los almidones de tunta y chuño se realizó en un colorímetro empleando la metodología indicada por Bohórquez, Bonilla, Pérez, Quintero y Vargas (2017). Se realizó el análisis por triplicado para determinar los valores de L* que indica luminosidad (+ (blanco) / - (negro)), parámetros a* con coordenadas cromáticas (+ (rojo) / - (verde)) y parámetros b* con coordenadas cromáticas (+ (amarillo) / - (azul)).

3.4.4.2 Propiedades Térmicas

En la determinación de calorimetría diferencial de barrido (CDB) se siguió la metodología sugerida por Hernández, Torruco, Chel y Betancur (2008) y Flores (2004). Para obtener el termograma, se determinó la temperatura de gelatinización como temperatura inicial (Ti), temperatura pico (Tp), temperatura final (Tf) y entalpía de gelatinización (ΔH) mediante la CDB. Se utilizó un equipo Perkin Elmer DSC 7, con una velocidad de calentamiento 10 °C por min de una temperatura de 30 a 120 °C respectivamente. Se pesó 1 g de muestra en una cápsula de aluminio, después se colocó en 20 ml agua destilada, donde se obtuvo una suspensión sólida con contenido

de agua al 95 %; luego se dejó en reposo por 1 h a una temperatura de ambiente. La gelatinización en presencia de agua al 95 % otorgó una elevada retrogradación.

3.4.4.3 Propiedad Morfológica

3.4.4.3.1 Difracción de rayos X (DRx)

La metodología empleada fue de Quintero, Aguirre y Álzate (2012) y Pardo, Castañeda y Ortiz (2013). Se pasaron por una malla de 150 μm de tamaño de poro, para reducirlos hasta un polvo fino y estas muestras en polvo se empacaron en una envoltura de aluminio. Se realizó el proceso en un difractómetro, que tenga un tubo de Cu con potencia de 40 mA y 40 kV; donde se utilizó una radiación $K\alpha - 1$ de Cu con paso de 0.02° , que debió estar equipado con el software Xpert highscore plus, el cual fue necesario para cuantificar las partes cristalinas y amorfas del almidón. Se obtuvo datos en un rango de 2θ (paso angular de 0.050), a temperatura de ambiente (5 y 50 $^\circ C$) y un tiempo de conteo por 15 seg. Las muestras se colocaron en una porta muestra de aluminio (área 30 mm - 30 mm) a temperatura de ambiente y con una humedad de 6 %).

3.4.4.3.2 Microscopio electrónico de barrido (MEB)

Para el análisis del MEB, la metodología descrita fue presentada por Flores (2004). Se analizó la microestructura del almidón extraído del tratamiento maximizado en un microscopio electrónico de barrido (modelo DSM - 950), que tuvo un uso de detección de electrones secundarios y un campo de 15 KV. Finalmente, las muestras se colocaron en una porta muestra de aluminio con un diámetro de 12 mm.

3.4.5 Cuantificación de almidón resistente

Para la cuantificación del almidón resistente se empleó la metodología de Goñi et al. (1996) con modificaciones, la cual se observa en la Figura 10. Se pesó 50 mg de almidón total y se colocó en un tubo de centrifuga de 50 ml, después se agregó 5 ml de buffer a

pH 1.5 (ajustándolo con 2M de HCl o 0.5M NaOH) y 0.1 ml de solución pepsina (0.5 gramo de pepsina/5 ml de buffer a pH 1.5), se mezcló la solución a agitación constante en un baño maría a 40 °C por 60 min y después se enfrió a temperatura de ambiente. Seguidamente se midió 4.5 ml de un buffer a pH 6.9 y se mezcló con 0.5 ml de α – *amilasa* (20 mg α – *amilasa*/ml de buffer a pH 6.9) en agitación constante, se incubó por 16 horas en un baño de agua de 37 °C; después se centrifugó la muestra a 4000 rpm desechando el sobrenadante, se lavó con agua destilada (5 ml) y se centrifugó nuevamente. Posteriormente se agregó agua destilada (1.5 ml) al residuo para humedecer la muestra (cuidadosamente), además se agregó 1.5 ml de 4 M KOH a temperatura de ambiente con una agitación constante por 30 min, se adicionó 2.75 ml de 2 M HCl y 1.5 ml de buffer a pH 4.75; asimismo se agregó 0.04 ml de enzima amiloglucosidasa (1.75 mg amiloglucosidasa/ml de sulfato de amonio a 3.2 M), el cual se mezcló en agitación constante y se colocó en un baño maría a 60 °C por 45 min. Luego se centrifugó en un intervalo de 2000 a 4000 rpm por 15 min, recolectando el sobrenadante en un frasco y se lavó el residuo obtenido con agua destilada (5 ml), se trabajó hasta obtener un sobrenadante de 25 - 100 ml. Incluso se preparó una curva estándar de solución líquida glucosa de 10 a 40 ppm, donde se colocó 0.5 ml de agua destilada, 0.5 ml de la muestra y 0.5 ml de los estándares, situándolo cada uno en un tubo de ensayo; además se agregó 1 ml del reactivo de glucosa líquida GOD-PAP a cada tubo, enseguida se mezcló y colocó en un baño maría en un intervalo de 40 a 60°C por 30 a 50 min. Finalmente se leyó la absorbancia de la muestra con estándares a 500 nm y se calibró con una muestra en blanco en el espectrofotómetro. Se utilizó la curva de glucosa anhidra.

$$AR(\%) = \frac{\frac{\mu g}{ml} \text{ absorbancia de la muestra}}{\text{ml absorbancia del estandar de glucosa}} \times (\text{volumen}) \times 0.9}{\text{Peso de la muestra } (\mu g)} \times 100 \dots \text{ (Ecuación 5)}$$

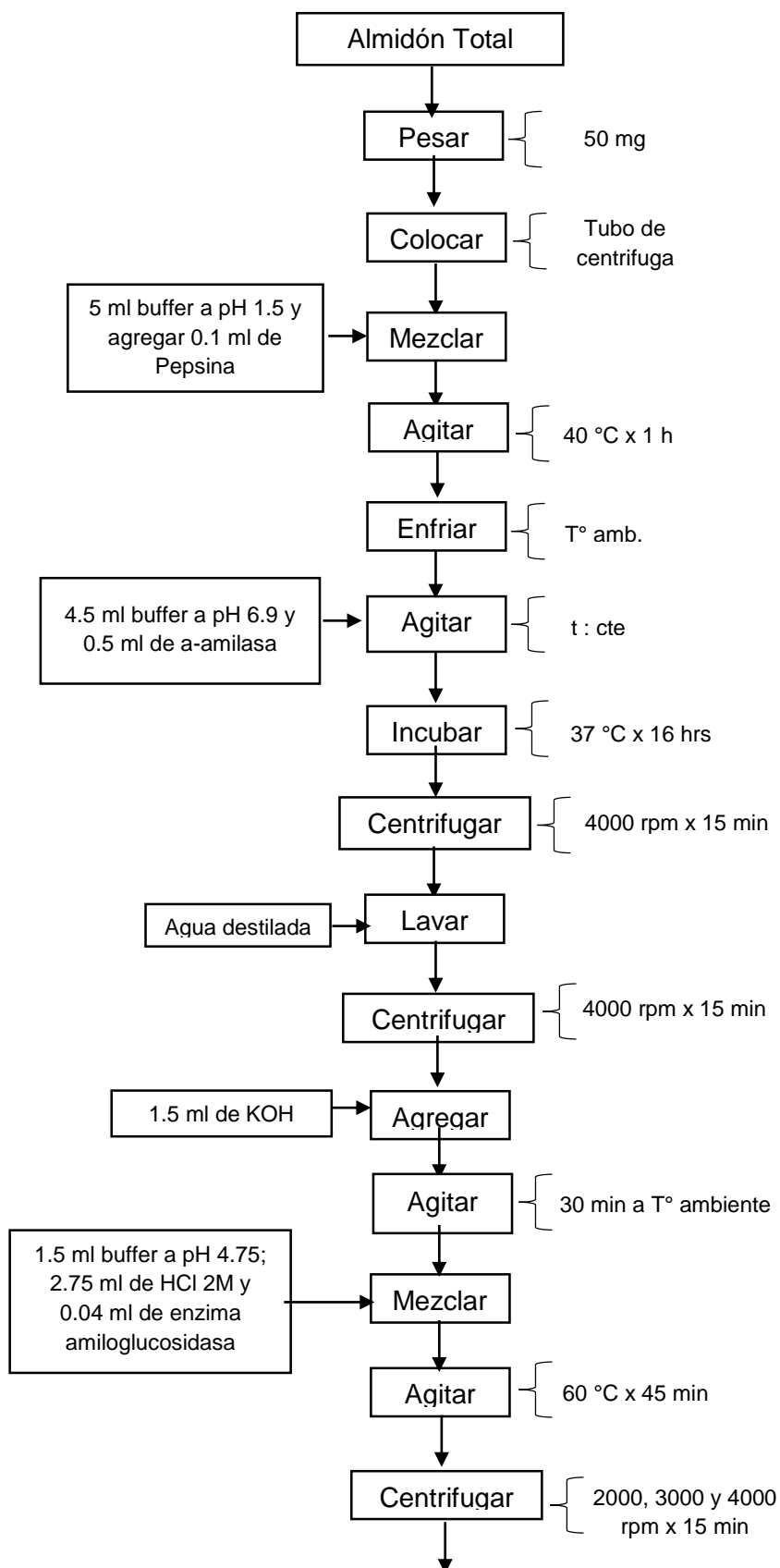


Figura 10. Proceso de cuantificación de almidón resistente de la tunta y chuño

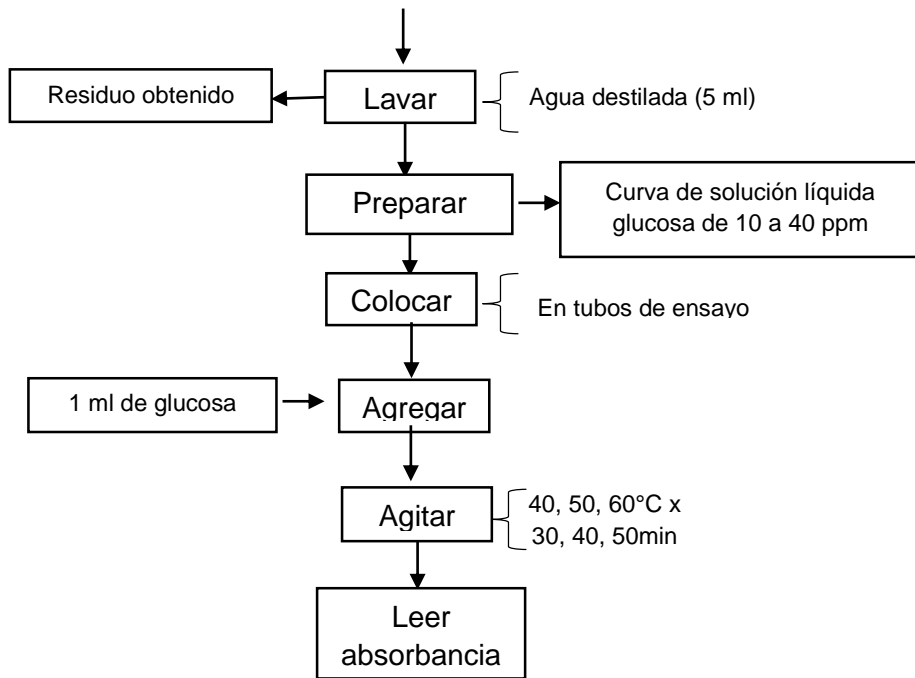


Figura 10. Proceso de cuantificación de almidón resistente de la tunta y chuño (Continuación)

3.5 Diagrama experimental

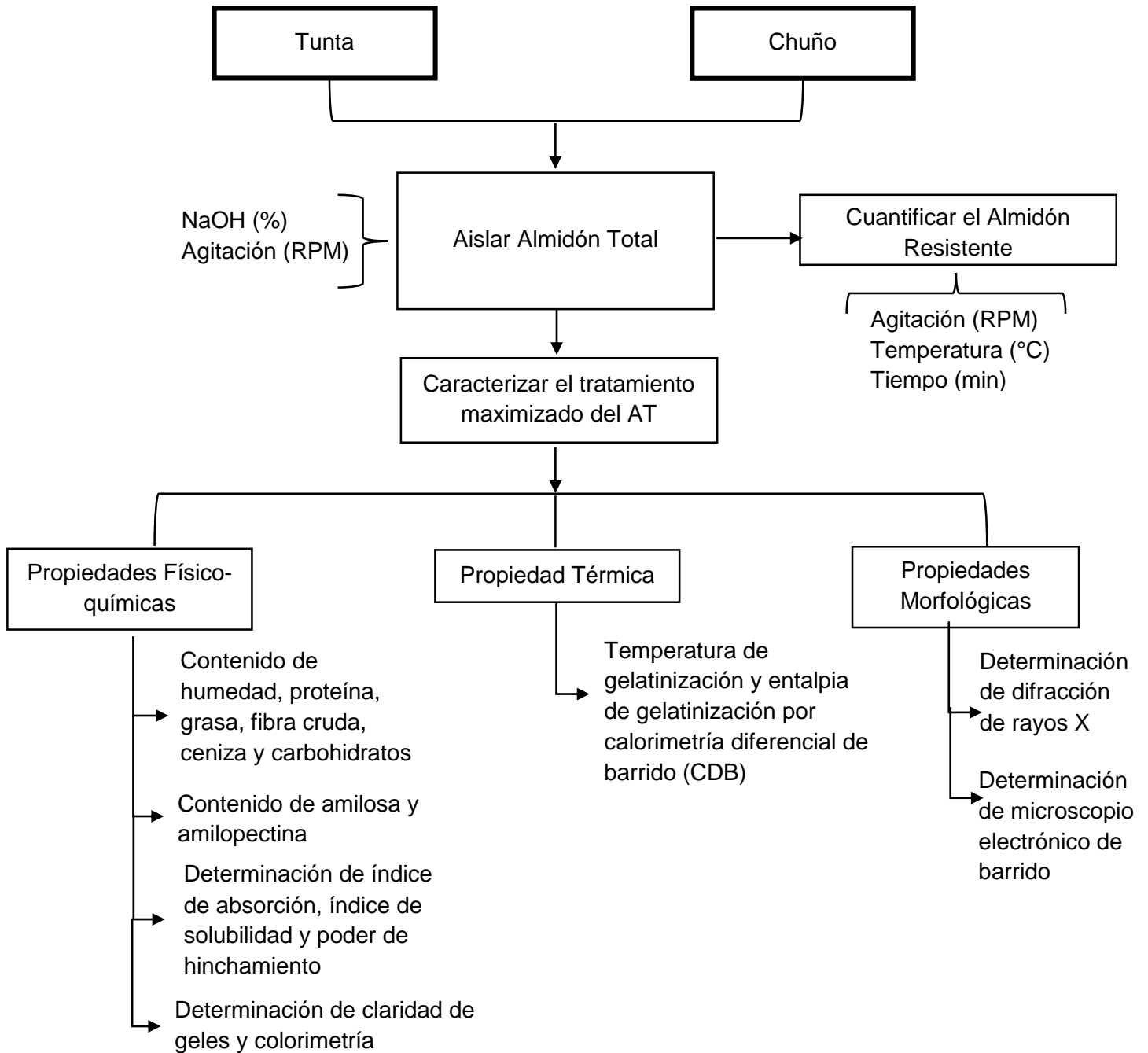


Figura 11. Diagrama experimental con variables independientes y dependientes

3.6 Diseño experimental

3.6.1 Diseño Estadístico

Para el rendimiento del almidón total del chuño y la tunta, se empleó el diseño de experimentos factorial de 2^2 con puntos centrales, el cual consistió de cuatro puntos factoriales y dos puntos centrales, totalizando de 6 tratamientos (Rodrigues y lemma, 2014). Los efectos de las variables independientes fueron la solución de Hidróxido de sodio (NaOH) y agitación (RPM) conforme son mostrados en la Tabla 5. Los rangos y niveles de las variables independientes usados en la forma codificada y no codificada en este trabajo son mostrados en la Tabla 6. Los experimentos fueron conducidos en orden aleatorio y los datos analizados por regresiones múltiples usando un método de mínimos cuadrados. La función de respuesta (Y) fue generada en los componentes lineal e interactivo y los datos experimentales fueron ajustados al modelo lineal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$Y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \dots\dots\dots \text{(Ecuación 6)}$$

Donde:

Y: Respuesta predicha medida

β_0 : Intercepto

β_i y β_{ij} : Coeficientes del modelo lineal e interacción

x_i y x_j : Valores codificados de las variables independientes

Tabla 5. Variables de estudio del almidón total (AT) de la tunta y el chuño

Variables	-1	0	+1
NaOH (%)	0.20	0.225	0.25
Agitación (RPM)	2500	3500	4500

Tabla 6. Diseño estadístico factorial $2^2 + 2pd$ para los parámetros del AT de la tunta y el chuño

Ensayos	Variables independientes				Variables dependientes	
	Codificados		No codificados		Rendimiento de AT de tunta (%)	Rendimiento de AT del Chuño (%)
	X ₁	X ₂	NaOH (%)	Agitación (RPM)		
1	-1	-1	0.20	2500	-	-
2	1	-1	0.25	2500	-	-
3	-1	1	0.20	4500	-	-
4	1	1	0.25	4500	-	-
5	0	0	0.225	3500	-	-
6	0	0	0.225	3500	-	-

Para la cuantificación del almidón resistente del chuño y la tunta, se empleó el diseño de experimentos factorial fraccionado (DEFF) que consisten de 9 tratamientos (Rodrigues y lemma, 2014), la opción de utilizar este diseño de experimentos es interesante para una investigación debido a que reduce el número de ensayos. Los efectos de las variables independientes fueron la agitación (rpm), temperatura (°C) y tiempo (min) como son mostrados en la Tabla 7. Los niveles de las variables independientes en la forma codificada y no codificada son mostrados en la Tabla 8. Los experimentos fueron generados en orden aleatorio y los datos analizados por regresiones múltiples usando un método de mínimos cuadrados. La variable dependiente (Y) fue generada en los componentes lineal, cuadrático e interactivo y los datos experimentales fueron ajustados al modelo polinomial de segundo orden:

$$Y = \beta_0 + \sum_j \beta_j x_j + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_j \beta_{jj} x_j^2 + e \dots \dots \dots \text{(Ecuación 7)}$$

Donde:

Y: Respuesta predicha medida

β_0 : Intercepto

β_j , β_{ij} y β_{ij} : Coeficientes del modelo lineal, cuadrático e interacción, respectivamente

x_i y x_j : Variables independientes

Tabla 7. Variables y niveles para cuantificar del almidón resistente (AR) de la tunta y el chuño

Variables	-1	0	+1
Agitación (RPM)	2000	3000	4000
Temperatura (°C)	40	50	60
Tiempo (min)	30	40	50

Tabla 8. Diseño estadístico factorial fraccionado 3^{3-1} de los parámetros del AR de la tunta y el chuño

Ensayos	Variables independientes						Variables dependientes	
	Codificados			No codificados			Rendimiento de AR de tunta (%)	Rendimiento de AR del Chuño (%)
	X ₁	X ₂	X ₃	Agitación (RPM)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)		
1	-1	-1	-1	2000	40	30	-	-
2	-1	0	1	2000	50	50	-	-
3	-1	1	0	2000	60	40	-	-
4	0	-1	1	3000	40	50	-	-
5	0	0	0	3000	50	40	-	-
6	0	1	-1	3000	60	30	-	-
7	1	-1	0	4000	40	40	-	-
8	1	0	-1	4000	50	30	-	-
9	1	1	1	4000	60	50	-	-

Para la evaluación comparativa se empleó el diseño estadístico de t-test de muestras independientes.

3.6.2 Análisis Estadístico

Para el rendimiento del almidón total (AT) del chuño y la tunta fue analizado el gráfico de contorno fue generado de los coeficientes de regresión de la ecuación. Los gráficos fueron usados para mostrar la relación entre la respuesta y los niveles de cada variable independiente y deducir las condiciones del rendimiento máximo del almidón total. El modelo de regresión fue evaluado por el análisis de varianza (ANOVA) y Pareto. Para analizar la comparación de las propiedades del almidón total fueron evaluados la normalidad, el p-valor y análisis de grafico box. Para la cuantificación del almidón

resistente (AR) fue analizado el gráfico de superficie de respuesta que fue generado de los coeficientes de regresión de la ecuación polinomial. Los gráficos fueron utilizados para mostrar la relación entre la variable dependiente y los niveles de cada variable independiente, y deducir las condiciones del rendimiento óptimo del almidón resistente. El modelo de regresión fue evaluado por el análisis de varianza (ANOVA) y Pareto. Todos los análisis estadísticos fueron realizados a un nivel de significancia de ($p \leq 0.05$) usando el software STATISTICA versión 13.1.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Composición proximal de la materia prima

Los resultados del análisis proximal de la tunta y chuño, son el porcentaje de humedad, proteína total, grasa, ceniza, fibra cruda y carbohidrato total. Donde la humedad de las harinas de tunta y el chuño fueron 8.82 y 7.80 % respectivamente, en 100g de muestra. La baja humedad baja que se obtuvo fue debido a que son tubérculos deshidratados con procesos tradicionales de secado al sol, donde la papa fresca pierde hasta un 85% de agua (NTP, 2007). La humedad de la harina de tunta debe tener como máximo un 16 % de agua y el chuño hasta 14 % máximo (Fonseca y Ordinola, 2017; Quispe, 2009). Rea y Vacher (1992) y Kallpa Foods (sf) corroboran que la humedad de la harina de chuño, deben mostrar humedades menores al 12 %, debido al proceso de pisado tradicional que se realiza para acelerar el secado al sol e incluso para evitar que sea propensa al crecimiento bacterianos/fúngico y su deterioro. Quispe (2009) registró la harina de chuño obteniendo un 12.45 % de humedad. Ceron, Bucheli y Osorio (2014) obtuvieron en la harina de papa un contenido de humedad (10.92 %), debido a los factores del clima, sistema de manejo, formas de almacenamiento de la harina e incluso la zona de cultivo de la papa, su procedencia y manejo en la postcosecha (Bonierbale, Amoros, Mihovilovich y Gomez, 2004).

El contenido de proteína obtenido en las harinas fue 1.48 % en la tunta y 1.82 % en el chuño. La Tabla Peruana de Composición de Alimentos [TPCA] (2009) reportaron valores similares de 1.9 % en la harina de tunta y el chuño un nivel más alto de proteínas (4.0 %), debido al distinto proceso de deshidratación de la papa, que es un factor importante para la cantidad final de nutrientes. Además, la cantidad de las proteínas debe ser menor debido a que estos tienden a absorber la humedad del ambiente. En cuanto a la harina de papa, Ceron et al. (2014) y Kamal, Islam y Aziz (2013) encontraron un contenido de proteína (1.63 %) cercano a la harina de chuño. Quispe (2009) informó

un contenido de proteína para las harinas de papa de variedad Alkaphiño un 1.53 % que es contigua a la harina de tunta y un 1.91 % en la variedad Pituhuayaga similar a la harina de chuño.

Respecto al contenido de grasa para la tunta fue 0.12 % y para el chuño 0.02 %, la baja cantidad de grasa en las harinas de tunta y chuño se debe a la relación que tiene con el contenido de carbohidratos (mayor carbohidrato menor será la cantidad de grasa). La TPCA (2009) mostraron un contenido de grasa elevado (0.5 y 0.2 % respectivamente) en las harinas de tunta y chuño. De igual manera, Riveros (2009) indicó diferentes contenidos de grasa para la harina de chuño (0.2 %) y tunta (0.39 %), a causa de la variedad de papas amargas utilizadas para la elaborar el chuño.

El contenido de fibra cruda para la tunta y chuño fueron 0.83 y 0.51% respectivamente, las cantidades de fibra se producen de acuerdo al refinamiento que reciben (mayor refinamiento menor cantidad de fibra). Quispe (2009) indicó en la harina de papa (variedad Pali) un valor semejante de fibra (0.83 %) a la harina de tunta, además mencionó en la harina de papa (variedad K'etu) un 0.66 % que es un valor adyacente a la harina de chuño.

La cantidad de la ceniza de la tunta fue 0.33 % y en el chuño un 1.01 %. Riveros (2009) reportó cantidades de ceniza cercanas en la harina de tunta (0.36 %), pero en el chuño (2.03 %) se alejó el contenido de ceniza. Sin embargo, la TPCA (2009) manifestó unos valores altos de ceniza (1.8 %) en la harina de tunta y en el chuño (2.3 %); los factores que pueden influir en el contenido de ceniza total puede ser el uso de fertilizantes en la papa amarga, debido a que influyen en el contenido de nutrientes, especialmente en el contenido mineral (Gichuhi, Kpombekou y Bovell, 2014). Córdova (2014) en su análisis de harina de papa presentó un contenido de ceniza (0.3 %) similar a la harina de tunta, a causa del suelo donde fue cultivado la papa y la materia orgánica, que afectan en el contenido de nutrientes.

Los carbohidratos totales fueron 88.48 % para la tunta y 88.84 % en el chuño, estos resultados son elevados a los datos reportados por la TPCA (2009) donde la harina de tunta obtuvo 77.7 % y el chuño 79.4 %. Fonseca y Ordinola (2017) informaron que estas harinas de tunta y chuño tienen una concentración de 80 % de carbohidratos; esto se corrobora con lo reportado por Riveros (2009) quien indicó un 83.23 % de carbohidratos en la harina de tunta y 80.15 % en la harina de chuño. Incluso, Quispe (2009) mostró un 80.15 % de carbohidrato para la harina de chuño y 84.28 % en la harina de papa Imilla negra. Ramesh y Rakesh (2008); Zambrano y Quintero (2011); Escobar y Varela (2008) reportaron en la harina de papa contenidos de carbohidratos (75.3, 72.33 y 73.13 %) menores a la harina de tunta y chuño, esto se debe a la elaboración de estos tubérculos deshidratados, que alteran significativamente el contenido nutricional de la papa cruda; en parte, por disminuir el contenido de humedad de 78 - 83 % a 14 - 18 % respectivamente, y tienen un aumento de cuatro veces en carbohidratos (18.5 a 80 %); incluso estas concentraciones nutricionales dependen de la variedad, el clima, las condiciones del suelo y el procesamiento de las papas (Zorn y Sue, 2004).

4.2 Rendimiento de almidón total de la tunta y chuño

En la Tabla 9, se mostró el rendimiento del almidón total de la tunta y chuño, donde se evaluó la influencia de los factores estudiados que fueron las concentraciones de NaOH (%) y agitación (RPM) mediante un diseño factorial de $2^2 + 2pd$, con un valor de $\alpha = 0.05$.

Tabla 9. Rendimiento del almidón total de la tunta y chuño

Ensayos	Codificados		No codificados		Rendimiento de AT de tunta (%)	Rendimiento de AT de Chuño (%)
	X ₁	X ₂	NaOH (%)	Agitación (RPM)	Promedio \pm SD	Promedio \pm SD
1	-1	-1	0.20	2500	69.61 \pm 1.00	49.71 \pm 3.20
2	1	-1	0.25	2500	53.75 \pm 1.24	44.89 \pm 0.25
3	-1	1	0.20	4500	33.29 \pm 19.92	54.69 \pm 0.39
4	1	1	0.25	4500	64.74 \pm 6.02	73.28 \pm 2.56
5	0	0	0.225	3500	58.21 \pm 2.98	56.11 \pm 1.52
6	0	0	0.225	3500	60.92 \pm 3.46	51.25 \pm 0.07

El rendimiento de aislamiento del almidón total de la tunta se encontró en un rango de 33.29 a 69.61 %, donde el mayor porcentaje se encuentra en el tratamiento 1 (0.20 % NaOH y 2500 RPM); la cual presentó diferencias significativas de $p < 0.05$ comparadas con los demás tratamientos.

En la Tabla 10, se mostró el análisis de varianza (ANOVA) sobre los rendimientos de almidón total aislado de la tunta, donde se observa que la interacción de las dos variables influye significativamente en el aumento del rendimiento de este almidón. Se observó que la interacción de las dos variables presenta un efecto estadístico significativo, esto da como evidencia que la interacción del NaOH (%) y la agitación (RPM) influyen para un mayor rendimiento, debido a que el NaOH junto a la agitación eliminan las proteínas y grasas, creando una capa de desecho continua al sobrenadante dando como producto final el almidón.

Tabla 10. Análisis de varianza (ANOVA) del rendimiento del AT de la tunta

$R^2=0.75341$; $R_{ajustado}=0.66093$

Factor	SC	gl	MC	F	p
(1) NaOH (%)	121.52	1	121.52	1.90	0.21
(2) Agitación (RPM)	321.06	1	321.06	5.03	0.06
1 y 2	1119.12	1	1119.12	17.52	0.003
Error	511.15	8	63.89		
Total, SC	2072.85	11			

En el rendimiento de AT del chuño se encontró en un rango de 44.89 a 73.28 % respectivamente, donde el tratamiento 4 (0.25 % NaOH y 4500 RPM) presentó mayor rendimiento, por ende, mayor diferencia significativa comparadas con los otros tratamientos.

Además, en la Tabla 11 se mostró el ANOVA del rendimiento de almidón aislado del chuño, el cual muestra significancia en el NaOH %, RPM y la interacción de estas dos variables, que influyen en la cantidad del almidón al momento de su aislamiento. Presentó un mayor efecto significativo la agitación seguida de la interacción de

agitación/NaOH y la concentración de NaOH %. Estos influyeron significativamente para el aumento del rendimiento de almidón total del chuño. Sin embargo, la interacción 1 by 2 producen un efecto conjunto de eliminación de proteínas, azúcares totales, vitaminas, minerales y agua, donde son separadas del almidón y aumentan su concentración.

Tabla 11. Análisis de varianza (ANOVA) del rendimiento del AT del chuño $R^2=0.94573$; $R_{ajustado}=0.92538$

Factor	SC	gl	MC	F	p
(1) NaOH (%)	94.88	1	94.88	15.49	0.006
(2) Agitación (RPM)	556.95	1	556.95	90.93	0.00002
1 y 2	274.13	1	274.13	44.76	0.0002
Error	53.13	8	6.64		
Total, SC	979.08	11			

Sosa y Maquera (2013) revelaron un rendimiento relativamente bajo para las harinas de tunta (18.8 %) y chuño (13.94 %) en comparación con el rendimiento obtenido del AT aislado, debido a que mostraron un descuido en su operación de lavado y decantación, aunque su proceso de extracción fue similar. De igual forma, Altemimi (2018) obtuvo un rendimiento muy bajo (16.5 %) en la harina de papa amarilla, en comparación con el rendimiento de las harinas de tunta y chuño, debido a que realizó la extracción con agua y no un proceso de aislamiento con solvente. Incluso se puede inferir que la diferencia se debe a que la tunta y chuño son tubérculos deshidratados, por lo cual tienen más carbohidratos (83.23 y 80.23 %) que la papa fresca (21.12 %) (Riveros, 2009).

En la superficie de respuesta (Figura 12) se verificó las regiones significativas del rendimiento ATT, donde se encuentra el NaOH (%) en un rango de 0.19 a 0.23 y la agitación de 2400 a 3000 RPM, mostrando un rendimiento alto a 0.20 % y 2500 RPM.

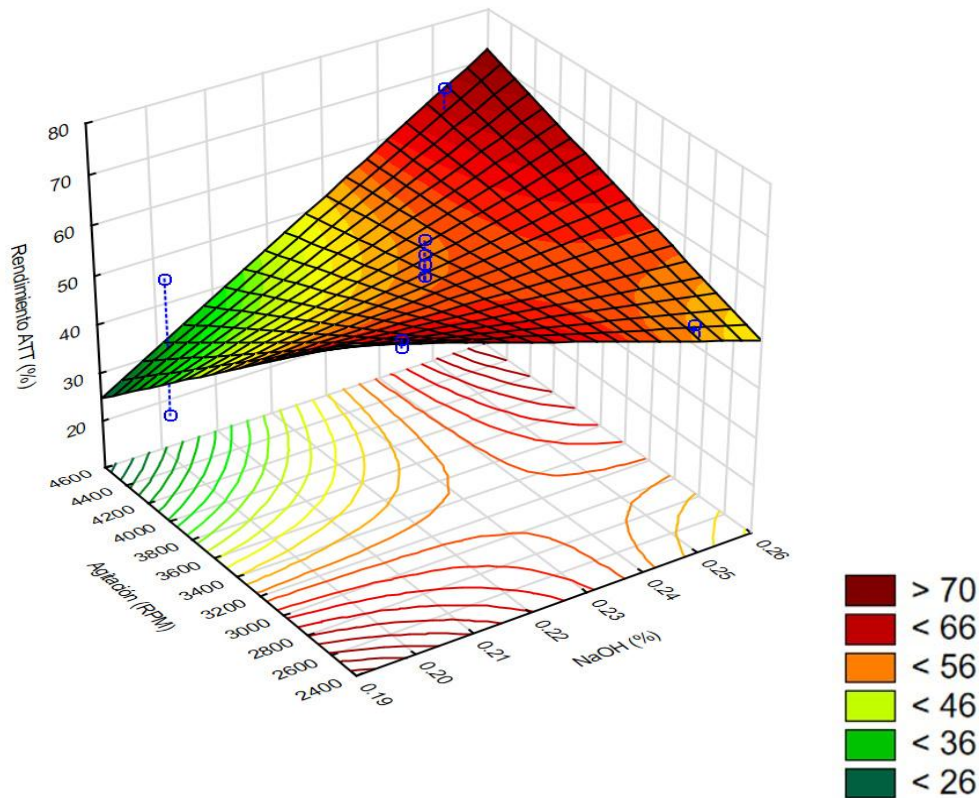


Figura 12. Gráfico de superficie de respuesta para el rendimiento (%) del almidón total de la tunta (ATT)

La ecuación del modelo ajustado para el rendimiento (%) del ATT correspondiente es:

$$\text{Rend. AT Tunta} = 416.41 - 1499.95 * H - 0.11 * A + 0.47 * H * A \quad \dots \text{ (Ecuación 8)}$$

Dónde:

H: NaOH (%)

A: Agitación (RPM)

En la ecuación 8, se observó el coeficiente 0.47 de la regresión del ATT en la interacción de las dos variables (NaOH (%) y la agitación (RPM)), este modelo lineal indica una tendencia ascendente de la interacción para obtener un mayor rendimiento. Encontrándose a $R^2=0.75341$; $R_{\text{ajustado}}=0.66093$.

La superficie de respuesta (Figura 13), verificó la presencia de una región significativa para el rendimiento del ATC, donde se encuentra un rango de 4000 a 4600

RPM y combinaciones de concentraciones de NaOH entre 0.23 a 0.26 % respectivamente, que manifestó un mayor rendimiento a 0.25 % y 4500 RPM.

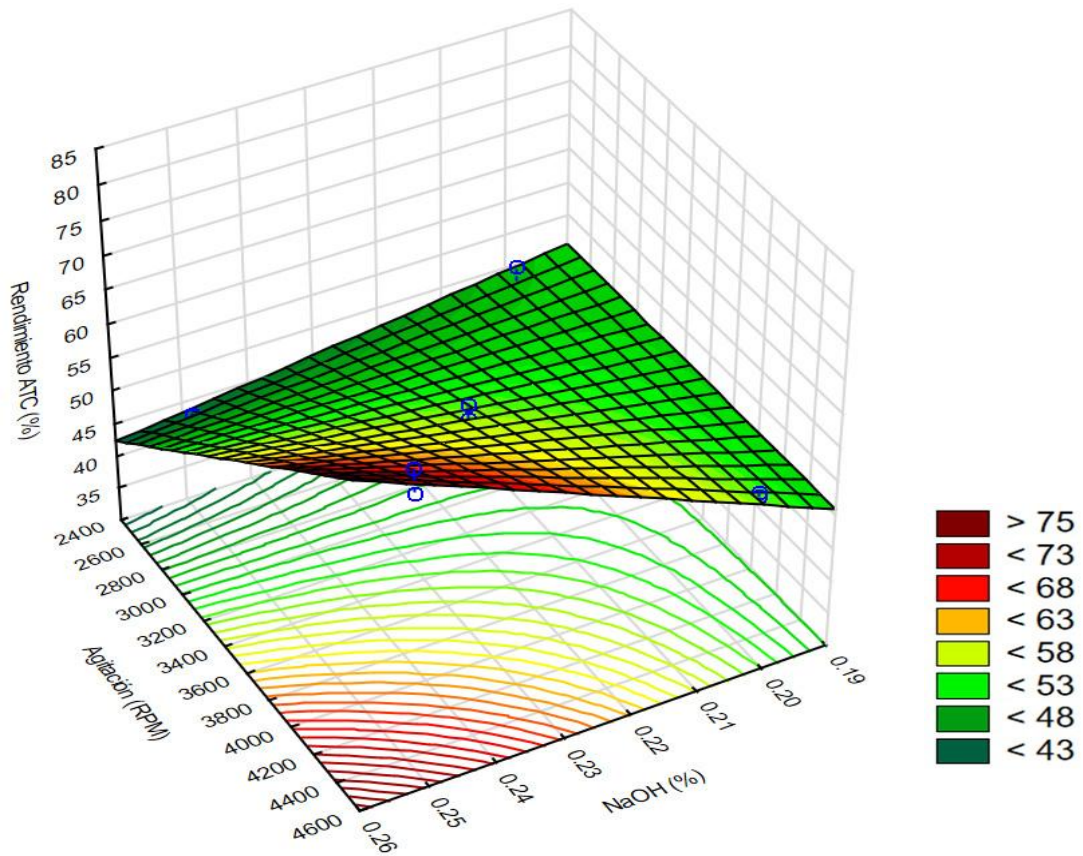


Figura 13. Gráfico de superficie de respuesta para el rendimiento (%) del almidón total del chuño (ATC)

La ecuación del modelo ajustado para el rendimiento % del ATC correspondiente es:

$$\text{Rendimiento ATC} = 179.18 - 681.76 * H - 0.04 * A + 0.23 * H * A \dots \text{(Ecuación 9)}$$

Dónde:

H: NaOH (%)

A: Agitación (RPM)

Para el almidón del chuño (Ecuación 9), los coeficientes de la regresión fueron la agitación (RPM) con -0.04, donde indicó que a menor RPM es mayor el rendimiento, y la interacción de las variables (NaOH (%) y la Agitación (RPM)) a un coeficiente 0.23,

mostró una tendencia positiva en la interacción para un elevado rendimiento. Encontrándose a $R^2=0.94573$; $R_{ajustado}=0.92538$.

El rendimiento del AT de los tratamientos significativos de la tunta y chuño fueron 71.67 y 50.89 % respectivamente, donde se utilizó 3000g de harina y se adquirió un peso de residuo de 450 g en la tunta y 900 g en el chuño, con un peso de almidón de 2550 y 2100 g respectivamente. Estos tubérculos deshidratados obtuvieron rendimientos elevados, debido a los cuidados que se tuvo al elaborar la materia prima (harina) lo cual fue nuestro primer procedimiento en el aislamiento de almidón total. Los rendimientos del almidón total de distintas variedades de papa presentado por Espinoza (2012) estuvieron en un rango de 54.33 a 58.78 %; el almidón de tunta tuvo un rendimiento más alto (71.67 %) y el almidón de chuño resulto cercano al rango (50.89 %). Forsyth, Ring, Noel, Paul, Findlay y Shewry (2002) obtuvieron unos resultados cercanos al rendimiento del AT de chuño, donde el almidón de *Pachyrhizus ahipa* (papa boliviana) alcanzo un 56 a 58 % y el almidón *Pachyrhizus erosus* (papa mexicana) un 58.6 %. Por otro lado, Rodríguez (2013) indicó rangos de rendimientos de AT para tubérculos *Solanum tuberosum andigena* (50.77 a 76.32 %) y *Solanum tuberosum Phureja* (52.31 a 77.76 %) semejantes al AT de la tunta y chuño. Por lo que, se refiere a Hoover (2001) y Vargas (2015) mostraron en el almidón de papa un rendimiento (32 y 16.50 % respectivamente) menor a lo reportado en los AT de la tunta y chuño. En cuanto a otros tubérculos, Surco (2004) y Cruz et al. (2017) presentaron para la oca (12.85 y 31.89 % respectivamente), unos rendimientos demasiado bajos que el rendimiento de AR de tunta y chuño.

4.3 Caracterización físico-química del almidón total de la tunta y chuño

4.3.1 Composición proximal

Se presentó el análisis proximal del almidón total de la tunta y chuño en la Tabla 12, donde la humedad obtenida fue 9.18 y 10.64 %. Según Sosa y Maquera (2013) indicaron

humedades similares a los almidones estudiados, donde para el almidón de tunta mostró un 9.50 % y el chuño un 10.90 %, debido a que son materias primas que pasan por un mismo proceso de secado al sol. La humedad de estos almidones, al igual que la harina debe ser menor al 12 % para evitar la propagación de mohos. Alvis, Vélez, Villada y Rada (2008) y, Espinoza (2012) presentaron un contenido de humedad de 8.50 y 8.43 % respectivamente, en almidón de papa, similar al almidón de chuño. En cuanto, Hoover y Vasanthan (1994) mostraron en el almidón de papa un contenido de humedad de 9.7 % próximo a la humedad del almidón de tunta. Meaño, Ciartella y Dorta (2014) indicaron que la humedad de los almidones debe variar entre 6 a 16 %, debido a que valores superiores conducen a un daño microbiano y deterioro de la calidad. Por otra parte, Moorthy (2002) indicó que los factores climáticos también desempeñan un papel importante en el contenido de humedad de los almidones.

Tabla 12. Análisis proximal del almidón total de la tunta y chuño

Muestra	Tunta	Chuño
Humedad %	9.18 ± 0.06	10.64 ± 0.03
Proteína Total, %	0.27 ± 0.03	0.35 ± 0.001
Grasa, %	0.03 ± 0.01	0.01 ± 0.004
Fibra Cruda, %	0.36 ± 0.01	0.89 ± 0.04
Ceniza, %	0.29 ± 0.005	0.45 ± 0.08
Carbohidratos, %	89.87 ± 0.07	87.67 ± 0.06

El contenido de proteína en el almidón de tunta y chuño fue 0.27 y 0.35 % respectivamente, estos contenidos son aptos para evitar la captación de humedad, ya que las proteínas tienden a adquirir una humedad que provoca el deterioro de la calidad del almidón. Sosa y Maquera (2013) estudiaron a los almidones de tunta y chuño, pero mostraron contenidos de proteína (0.16 y 0.35 %) cercanos a lo obtenido en el ATT y ATC, aunque el almidón de chuño obtuvo un contenido igual. Meaño et al. (2014) indicaron una cantidad de proteína (0.29 %) en el almidón de papa, semejante al almidón

de tunta. Surco (2004) dio a conocer el contenido de proteína del almidón de olluco (0.2 %), se observa también una cantidad casi cercana a la proteína del almidón de tunta, las cercanías de los contenidos de proteína se deben porque los chuños y la papa son tubérculos que tienen similar valor nutricional.

Con respecto al contenido de grasa del almidón de tunta y chuño fueron 0.03 y 0.01 %, estos contenidos de grasa están relacionados con los carbohidratos, los cuales fueron una cantidad elevada. Estos valores se encuentran dentro del rango (0.02 a 0.05 %) reportado por Hoover y Vasanthan (1994) y Swinkels (1985) para el almidón de papa. Valcárcel, Rondán, Finardi (2013) mostraron una cantidad de grasa de 0.02 % en el almidón de tubérculo de mashua, que fue cercano al almidón de tunta. Donde al comparar los almidones de tunta y chuño con otros tubérculos se notó la diferencia de contenidos de grasa. El almidón de papa reporto un rango de 0.20 a 0.5 % y el almidón del tubérculo ñame un 0.42 % (Vargas, 2016; Alvis et al., 2008; Vargas, 2015; Guanaratne y Hoover, 2002; Meaño et al., 2014). Por otra parte, Oladebeye, Oshodi y Oladebeye (2009) y Morthy (2002) indicaron que la grasa forma un componente importante con un fuerte efecto sobre las propiedades del almidón, e incluso afectan en las propiedades de absorción de agua, solubilidad y claridad de geles, al no permitir la unión de moléculas de agua (Estrada, Pérez, Martínez y Montañez, 2009).

En tanto, el contenido de fibra cruda resultó 0.36 % en el almidón de tunta y 0.89 % en el almidón de chuño, comparados con los resultados de Hernández et al. (2008) y Moorthy (2002) que analizaron almidones de camote (0.28 a 1.28 % respectivamente); además añaden que el contenido de fibra en el almidón varía en gran medida dependiendo del tamiz utilizado para la eliminación del material fibroso y la variedad del tubérculo.

El contenido de ceniza fue 0.29 % en el almidón de tunta y 0.45 % en el almidón de chuño. Según Sosa y Maquera (2013) informan un contenido de ceniza de 0.40 % en el

almidón de tunta y 0.50 % en el almidón de chuño, el cual se aproxima a la ceniza de ATC. Incluso la cantidad de ceniza del almidón de chuño también se encuentra casi en el rango reportado en los almidones de papa (0.40 a 0.43 %) (Alvis et al., 2008; Swinkels, 1985; Vargas, 2015). Una cantidad de ceniza del almidón de papa fue 0.25 %, casi igual al contenido de ceniza del ATT (Gunaratne y Hoover, 2002).

Por último, los carbohidratos totales resultaron 89.87 y 87.67 % para el AT de tunta y chuño respectivamente, se mostró una cantidad de carbohidrato mayor debido a que está vinculado al contenido de fibra la cual obtuvo una cantidad mínima. Contenidos de carbohidratos cercanos a estos almidones fueron reportados por Sosa y Maquera (2013), donde obtuvieron 89.94 % en el almidón de tunta y 88.25 % en el almidón de chuño. En cuanto, al rango de carbohidratos (98.80 a 99.40 %) del almidón de papa nativa, mostraron los almidones de tunta y chuño una baja cantidad de carbohidratos, debido a la diferencia de humedades que tienen estos tubérculos (Vargas, Martínez y Velezmoro, 2016; Hernández et al., 2008; Vargas, 2015).

4.3.2 Contenido de amilosa y amilopectina

En la Tabla 13, se presentó el contenido de la amilosa y amilopectina del almidón total de la tunta y chuño; donde la tunta obtuvo menor contenido de amilosa (14.89 %) que el chuño (20.21 %) y menor amilopectina (79.79%) mostró el chuño que la tunta (85.11 %). Hernández et al. (2008) y McPherson (1999) reportaron resultados semejantes (21 y 79 %) al almidón de chuño en el contenido de amilosa y amilopectina del almidón de papa, esto se da a causa del bajo contenido de grasa que tienen estos almidones. También se encuentran dentro de estos rangos el contenido de amilosa (15 a 30 %) y amilopectina (70 a 85 %) de las papas nativas, los almidones de tunta y chuño (Robles, 2012; Alvis et al., 2008; Hoover y Vasanthan, 1994; Swinkels, 1985). Forsyth et al. (2002) afirman un rango de amilosa en los almidones de tubérculos *Pachyrhizus ahipa* (16.8 %) y *Pachyrhizus erosus* (16.9 %), que coincide con el contenido de amilosa

en el AT de la tunta; por ende, los contenidos de amilosa en los almidones de tubérculos son generalmente menores que los cereales y las leguminosas (mayor de 25 %). Por otro lado, Moorthy (2002) informa que la amilosa, imparte características definidas al almidón, donde algunas amilosas pueden existir como “amilosas solubles” en las regiones amorfas de los gránulos de almidón.

Tabla 13. Contenido de amilosa y amilopectina del almidón total de la tunta y chuño

Análisis	Tunta	Chuño	p-valor
Amilosa (%)	14.89 ± 0.43 ^b	20.21 ± 0.65 ^a	0.0003
Amilopectina (%)	85.11 ± 0.43 ^a	79.79 ± 0.65 ^b	0.0003

En cuanto a otros tubérculos, Velásquez, Bello, Yee y Velezmoro (2018) indicaron resultados del contenido de amilosa en los almidones de los tubérculos de olluco (27.1 %) y oca (28.2 %) con una diferencia notable al almidón de tunta y chuño, debido a la humedad que manejan estos tubérculos que es un 18.81 % (Velasquez, Aguirre y Quintero, 2017) en comparación con el almidón de tunta y el chuño (Tabla 12). Se debe agregar que Meaño et al. (2014) informaron que el contenido de amilosa afecta las propiedades de gelatinización y poder de hinchamiento.

4.3.3 Absorción de agua, solubilidad en agua y poder de hinchamiento

Los valores obtenidos de AA, SA y PH del almidón total de la tunta y chuño fueron presentados en la Tabla 14.

Tabla 14. Índice de absorción de agua, solubilidad en agua y poder de hinchamiento

Análisis	Tunta	Chuño	p-valor
Índice de absorción de agua (IAA)	7.11 ± 0.91	8.00 ± 1.32	n.s (0.393)
Índice de solubilidad en agua (ISA), %	1.31 ± 0.01	2.29 ± 0.01	n.s (0.363)
Poder de hinchamiento (PH)	7.21 ± 0.95	8.19 ± 1.40	n.s (0.371)

El índice de absorción de agua en la tunta (7.11 %) fue menor que del chuño (8.0 %). Alvis et al. (2008) registraron una absorción de agua (5.83 %) en el almidón de papa, que fue menor a los reportado por el almidón de tunta y chuño. Esto se dio, porque la absorción de agua y poder de hinchamiento de almidones están relacionados con la temperatura de preparación del gel (Chen, Zhou, Yang y Cui, 2015; Lin, Kao, Tsai, y Chang, 2013).

En cuanto, el índice de solubilidad en el almidón de tunta (1.31 %) fue menos soluble que del chuño (2.29 %). Meaño et al. (2014) indicaron una solubilidad en agua de 1.25 % en el almidón del tubérculo ñame Congo, que tiene proximidad a la solubilidad del AT de la tunta, incluso definen la importancia de la determinación, ya que la cantidad de amilosa separada del gránulo de almidón empieza a deformar su estructura a causa de la absorción de agua. Alvis et al. (2008) analizaron el almidón de papa (2.97 %) con una solubilidad distante del almidón de chuño, debido a que la solubilidad del almidón depende de varios factores, como las fuerzas interasociativas, el poder de hinchamiento, la presencia de otros componentes, entre otros (Moorthy, 2002). En otros tubérculos, como el camote (2.19 a 2.37 %) y la mashua (2.27 %) encontraron solubilidades parecidas al AT del chuño (Kale, Shere y Ghade, 2017; Surco, 2004).

El poder de hinchamiento, según Moorthy (2002) sirve para percibir el incremento del gránulo del almidón porque está relacionado con el contenido de amilosa-amilopectina, la longitud de la cadena y la distribución del peso molecular. El poder de hinchamiento del almidón de tunta (7.21 %) fue menor que el chuño (8.19 %). Robles (2012) y Surco (2004) mostraron un rango de 4.51 a 11.85 % respectivamente, en almidones para diferentes variedades de papas nativas, en la cual los almidones de tunta y chuño se encuentran dentro del rango estimado. Pero Kale et al. (2017) indicaron que la diferencia se da por la existencia de cristales formados por la asociación entre largas cadenas de amilopectina. Hoover y Vasanthan (1994) demostraron que la

amilosa y los lípidos en los almidones normales, podrían inhibir la hinchazón de los gránulos en las que es probable que se formen complejos de amilosa - lípido.

4.3.4 Claridad de geles

Torruco y Bentamcur (2007) informaron que la claridad de geles, es un parámetro importante para dar al producto final un brillo y opacidad deseable. La determinación de la claridad de geles del almidón total de la tunta y chuño, se realizó por porcentaje de transmitancia (%) lo cual se presentó en la Tabla 15; el almidón de tunta (21.27 %) obtuvo mayor claridad que el chuño (17.47 %). Vargas (2015) obtuvo en el almidón de papa (Variedad Única) una claridad (57.4 %) más elevada, que del almidón de tunta y chuño. Aristizábal y Sánchez (2007) indicaron que la claridad de geles con claridad <40 % son estimados como opacos, sin embargo, los de claridad >40 % son considerados claros y transparentes. De manera que, los almidones de mayor claridad pueden ser utilizados como insumo en mermeladas, confitería, gelatinas, entre otros; pero los que son opacos o turbios (menor claridad) pueden utilizarse en alimentos poco transparentes (mayonesas, néctares, en la panificación, en productos cárnicos, entre otros) (Hernández et al., 2008). Por lo tanto, los almidones de la tunta y chuño por tener una claridad menor a 40 % deben ser utilizados en productos poco transparentes.

Tabla 15. Claridad de geles del almidón total de la tunta y chuño

Análisis	Tunta	Chuño	p-valor
Claridad de geles	21.27 ± 1.25 ^a	17.47 ± 0.59 ^b	0.009

4.3.5 Colorimetría

En la Tabla 16, se observó el análisis de color del AT de Tunta y chuño, donde la luminosidad (L*) en la tunta (L=76.53) fue mayor que en el chuño (L=67.33), con lo referente al parámetro de a* (coordenadas rojo(+a) / verde(-a)) se mostró una menor intensidad (verde) en la tunta y mayor intensidad (rojo) en el chuño. En el parámetro b*

(coordenadas amarillo (+b) / azul (-b)) se observa una mayor tendencia (amarillo) en el chuño y menor tendencia (azul) en la tunta. Fatemesh y Abdorreza (2014) indicaron que el almidón de papa obtuvo una luminosidad más elevada ($L=94.46$) que el almidón de chuño y tunta, a causa de su proceso previo de deshidratación, de acuerdo al parámetro a^* y b^* (0.14 y 1.43), respectivamente mostraron datos más cercanos al almidón de tunta. Soto y Yantas (2012) analizaron almidones de tres variedades de papa: capiro, huayro-moro, amarilis-inia, donde las luminosidades ($L^*= 84.73, 85.88, 81.87$) resultaron también altos en comparación con el almidón de tunta y chuño, debido a la diferencia de proceso de las papas. Incluso acotaron que cuanto más oscuro es el color del almidón, la luminosidad será menor.

Tabla 16. Análisis de color en almidón total de la tunta y chuño

Color	Tunta	Chuño	p-valor
L^*	76.53 ± 0.10^a	67.33 ± 0.34^b	0.000001
a^*	0.67 ± 0.07^b	2.56 ± 0.13^a	0.000003
b^*	3.35 ± 0.02^b	7.03 ± 0.13^a	0.000001

4.3.6 Propiedades térmicas

4.3.6.1 Temperatura de gelatinización

Los resultados para los almidones de tunta y chuño fueron presentados en la Tabla 17, donde el proceso de gelatinización presentó mayor T_o , T_p y T_f en la tunta (60.70, 65.21 y 72.28 °C, respectivamente) que el chuño (59.25, 63.69 y 69.89 °C, respectivamente), lo cual se confirma en las gráficas que se mostraron en la Figura 14 y 15. Robles (2012) informó que existe una relación de la temperatura de gelatinización con el contenido de amilosa, puesto que estos se gelatinizan a una temperatura menor de calentamiento cuando se tienen valores altos de amilosa. Parada y Aguilera (2012) observaron que sus resultados no expusieron diferencias entre los almidones de chuño y papa en la T_p (~65.6 °C) y T_f (~76.5 °C), pero la T_o fue significativamente diferente

entre ambos almidones (61.84 y 60.90 °C), estas temperaturas fueron similares al proceso de gelatinización del AT de la tunta. Además, Espinoza (2012) mostró en el almidón de papa rangos de temperaturas, donde la T_o (60.12 a 62.61 °C) y T_f (70.34 a 73.43 °C) coinciden con el almidón de tunta, en cuanto al T_p (63.77 a 66.46 °C) concuerda con el almidón de chuño.

Forsyth et al. (2002) observaron un rango de pico endotérmico similar a la temperatura de los almidones de tunta y chuño, en el almidón del tubérculo *Pachyrhizus ahipa*, el cual osciló entre 59 a 66 °C, para el almidón de *Pachyrhizus erosus* su T_p (65.5 °C) fue similar al almidón de tunta; también añade que la forma cristalina del almidón y la longitud de la cadena están involucradas en los cambios de calor asociados con la gelatinización. En el almidón de papa nativa, de igual manera se consiguieron rangos de temperaturas de T_o (54 a 60.8 °C), T_p (59 a 66.3 °C) y T_f (64 a 76.0 °C) cercanos al almidón de tunta y chuño (Gunaratne y Hoover, 2002; Hoover y Vasanthan, 1994; MCPerson, 1999). Lim, Wu y Reid (2000) analizaron el proceso de gelatinización del almidón de papa nativa, el cual alcanzó un máximo de 63.9 °C similar al almidón de chuño, este estudio estuvo muy cerca también de las temperaturas máximas de gelatinización de un almidón de papa comercial, que oscila entre 60 y 63 °C. Hoover (2001) mostró para el almidón de papa un rango de temperaturas de gelatinización (62.5 a 70.2 °C) similares al almidón de tunta y chuño, puesto que el contenido de amilosa, la cadena de amilopectina, almidón: agua y el tipo de granulo influyen en la temperatura de gelatinización (Chung, Liu y Hoover, 2009).

Tabla 17. Propiedades de gelatinización CDB para el almidón de tunta y chuño

Muestras	Almidón de Tunta	Almidón de Chuño	p-valor
T_o (°C)	60.70 ± 0.007 ^a	59.25 ± 0.007 ^b	0.00002
T_p (°C)	65.21 ± 0.047 ^a	63.69 ± 0.189 ^b	0.008
T_f (°C)	72.28 ± 0.007 ^a	69.89 ± 0.219 ^b	0.004

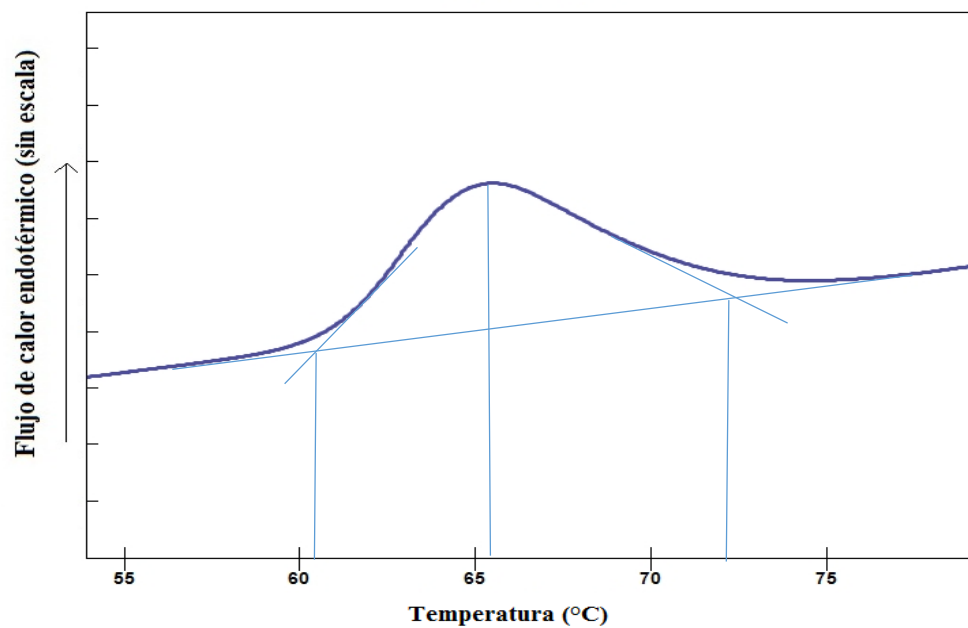


Figura 14. Termograma del almidón de tunta (ATT)

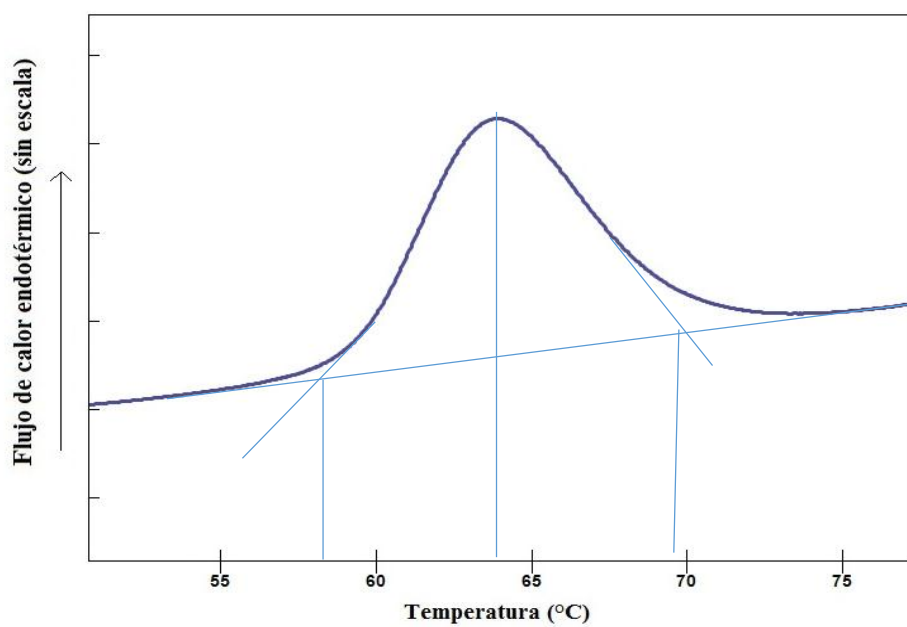


Figura 15. Termograma del almidón del chuño (ATC)

Hernández et al. (2008), McPherson (1999) y Moorthy (2002) acotaron que estos almidones pueden adoptarse para el uso en alimentos que no requieran temperaturas elevadas, por ejemplo, en caramelos chiclosos, pudines, entre otros.

4.3.6.2 Entalpía de gelatinización

En la Tabla 18, se observó que la energía de gelatinización de la tunta (14.09 J/g) fue mayor que del chuño (13.62 J/g). Parada y Aguilera (2012) no observaron diferencias entre los almidones de chuño y papa (~14.9 J/g) y esta entalpía es semejante al almidón de tunta. Espinoza (2012) mostró una entalpía (14.58 J/g) en almidón de papa similar a la energía del almidón de tunta. Forsyth et al. (2002) analizaron el almidón de los tubérculos *Pachyrhizus ahipa*, con una entalpía (13.03 J/g) que fue similar al almidón de chuño y el tubérculo *Pachyrhizus erosus* (14.23 J/g) al almidón de tunta.

Tabla 18. Entalpía de gelatinización para el almidón de tunta y chuño

Muestras	Almidón de Tunta	Almidón de Chuño	p-valor
ΔH (J/g, b.s.) ²	14.09 \pm 0.153	13.62 \pm 0.390	n.s (0.25)

Singh, McCarthy y Singh (2006) informaron que el valor de la entalpía proporciona una medida global de cristalinidad (calidad y cantidad) y es un indicador de la pérdida de orden molecular dentro del gránulo, un efecto que ocurre en la gelatinización. Una entalpía pequeña sugiere un menor grado de organización o una menor estabilidad de los cristales.

4.3.7 Propiedades morfológicas

4.3.7.1 Determinación de difracción de rayos x (DR_x)

El análisis de difracción de rayos X se llevó a cabo en dos muestras de almidones, de tunta (Figura 16) y chuño (Figura 17). Los almidones exhibieron el patrón de rayos x tipo B que es propia en tubérculos, con picos en 11.48° (débil), 14.55° (media), 17.27° (fuerte), 19.66° (débil), 22.20° (media), 23.90° (media) y 26.34° (débil) para el ángulo 2 θ

del almidón de tunta y 11.73° (débil), 14.37° (media), 17.21° (fuerte), 19.75° (débil), 22.20° (media), 24.18° (media) y 26.59° (débil) en el ángulo 2Θ del almidón de Chuño. En cuanto, la cristalinidad obtenida en el almidón de tunta fue 31.41% y en el chuño mostró 31.18%.

Parada y Aguilera (2012) mostraron que el almidón de chuño exhibió el patrón típico de rayos X con intensidades de reflexión centradas en 5.5° , 17.1° y 22 a 24° 2Θ , evidenciando la estructura cristalina de tipo B, estos patrones típicos fueron muy similares a los almidones de tunta y chuño. Pardo et al. (2013) observaron patrón de tipo B en el almidón de papa, con picos en 5.5° (media), 9.9° y 11.1° (débil), 14.4° (media), 17.2° (fuerte), 19.5° , 22.2° y 24° (media), 26.3° (débil) y 34.3° (débil) en el ángulo 2Θ , lo cual muestra proximidad con los picos del AT de la tunta y chuño, e incluso en las intensidades. Velasquez et al. (2017) presentaron picos (17° , 19° y 22°) para el almidón de papa cercanos también a los dos almidones. Hoover (2001) y Gunaratne y Hoover (2002) corroboran que el almidón de papa tubo un tipo B con 30% de cristalinidad relativa, e informaron que la superficie de los gránulos del almidón fue lisa y no mostraron evidencia de agujeros en el microscopio electrónico, lo que coincide con el tipo patrón y estructura del AT de la tunta y chuño. Asimismo, mencionan que las diferencias en la cristalinidad relativa son: 1) tamaño del cristalito, 2) orientación de las hélices dobles (dentro del cristalito), 3) longitud media de la cadena de amilopectina y 4) porcentaje molar de la fracción de cadena corta de la amilopectina. McPherson (1999) obtuvo resultado para los almidones de papa un patrón de difracción de rayos X tipo B, que confirma el tipo de patrón para el AT de la tunta y chuño.

Sin embargo, Forsyth et al. (2002) indicaron una diferencia con el almidón de los tubérculos *Pachyrhizus ahipa* y *erosus* mostrando consistentemente patrones de tipo C (consiste en aproximadamente 90 % de tipo A y 10 % de tipo B), y añade que la Temperatura pico del almidón como depende de la forma cristalina, esto aumenta en el orden de difracción (tipo A-B-C). Para los almidones de camote, Moorthy (2002) informó

poseen un patrón intermedio entre A y C, la cristalinidad absoluta para este almidón es del 38 %. Donde llegó a la conclusión de que el camote tiene una mayor proporción de cadenas "A" y cadenas cortas "B" en comparación con el almidón de papa.

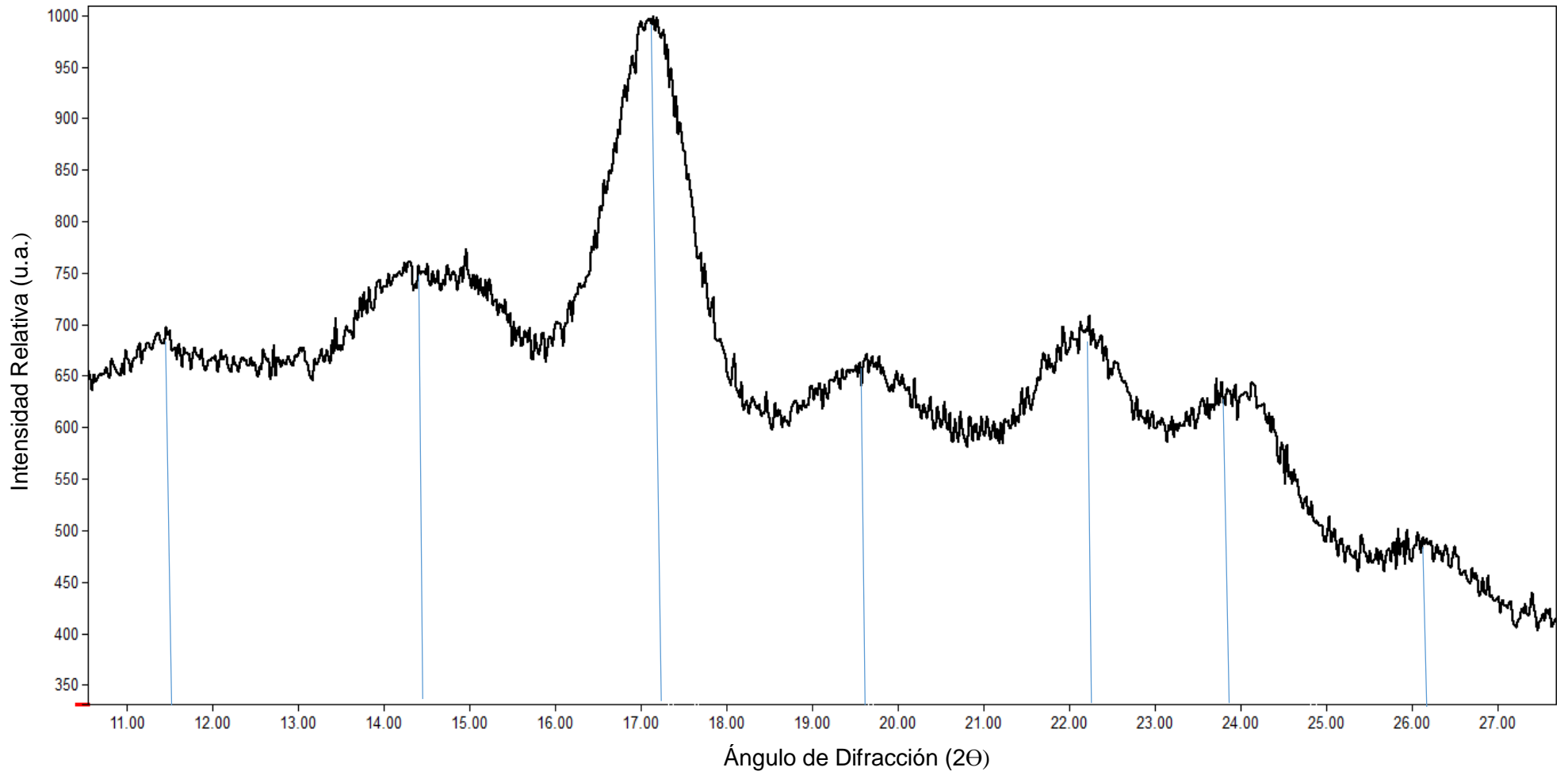


Figura 16. Espectro de rayos X del almidón total de la tunta

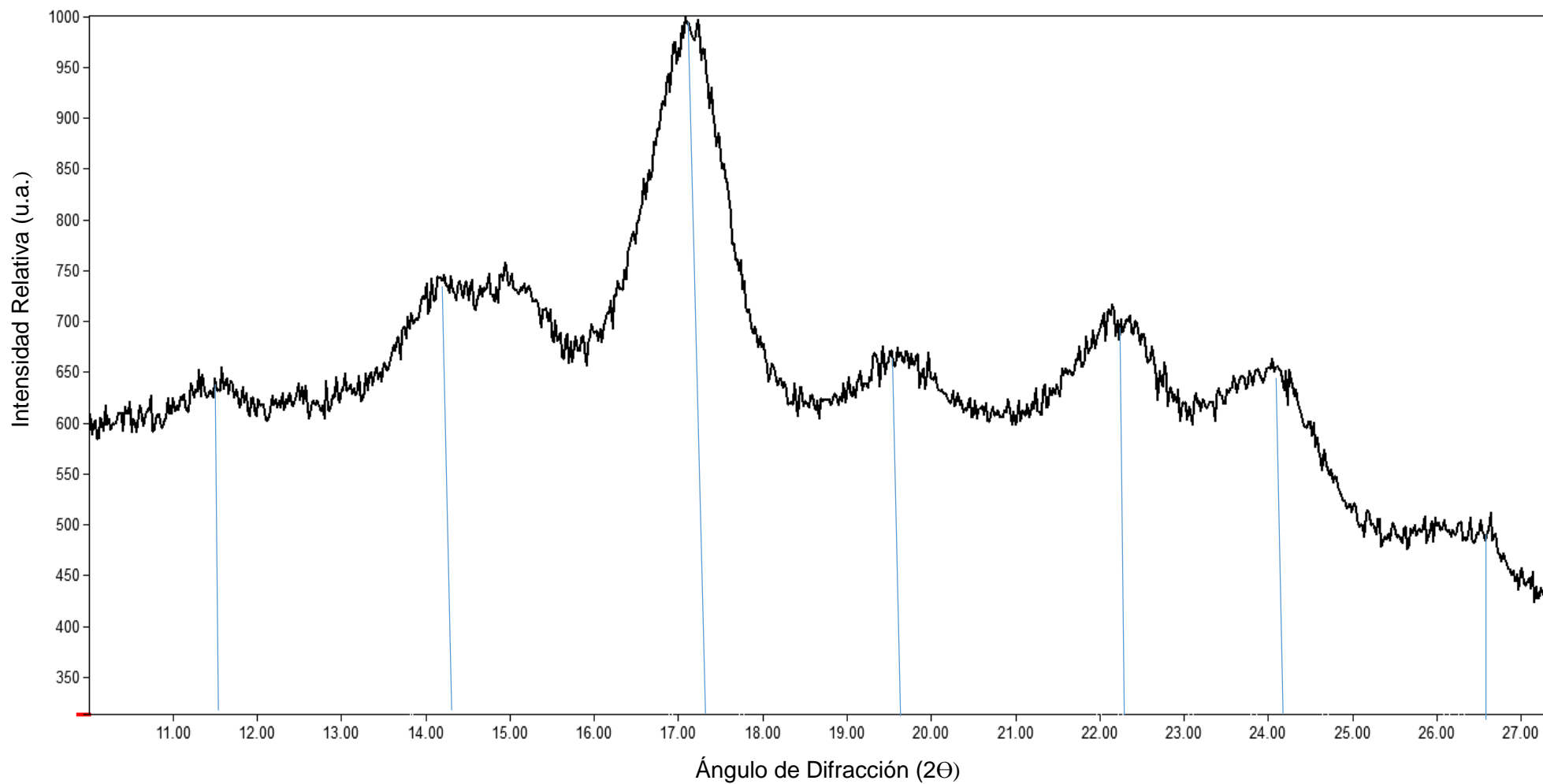


Figura 17. Espectro de rayos X del almidón total del Chuño

4.3.7.2 Determinación de microscopía electrónica de barrido (MEB)

La microscopía electrónica de barrido en el almidón de tunta y chuño (Figura 18 y 19) mostraron gránulos sin daños en su estructura, con formas esféricas de diámetros semejantes (17.8 μm en la tunta y 17.8 μm en el chuño). La distribución normal de la Figura 20, mostró la diferencia de tamaños en las esferas y en cuanto a las formas elípticas con menor (20.8 μm para la tunta y 20.7 μm para el chuño) y mayor diámetro (33.1 μm para la tunta y 33.2 μm para el chuño), se presentaron en las Figuras 21 y 22. Parada y Aguilera (2012) mostraron en el almidón de chuño una distribución de tamaño con un máximo de 29 μm , donde se asemeja más al tamaño del almidón de tunta. Además, informan que la variación en el tamaño y la forma de los gránulos de almidón puede atribuirse al origen biológico (ya que se sabe que existen muchas variedades de papas), ya que el tamaño informado de los gránulos de almidón de papa puede variar de 1 a 110 μm , ya las formas pueden ser oval e irregular o cuboidal.

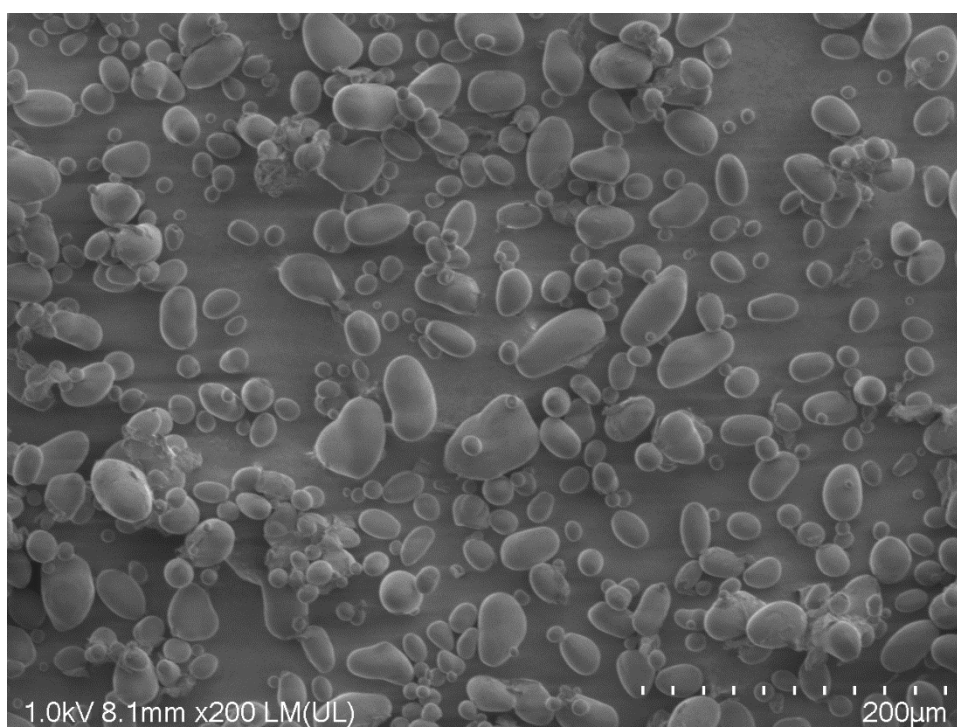


Figura 18. Microscopía electrónica de barrido de gránulos de almidón de Tunta

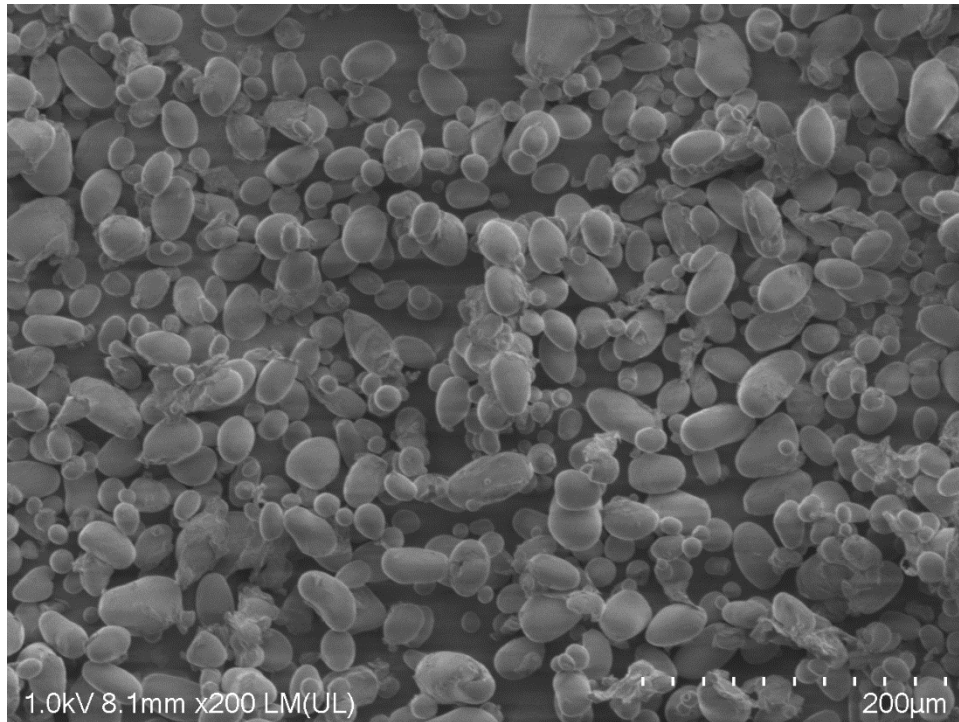
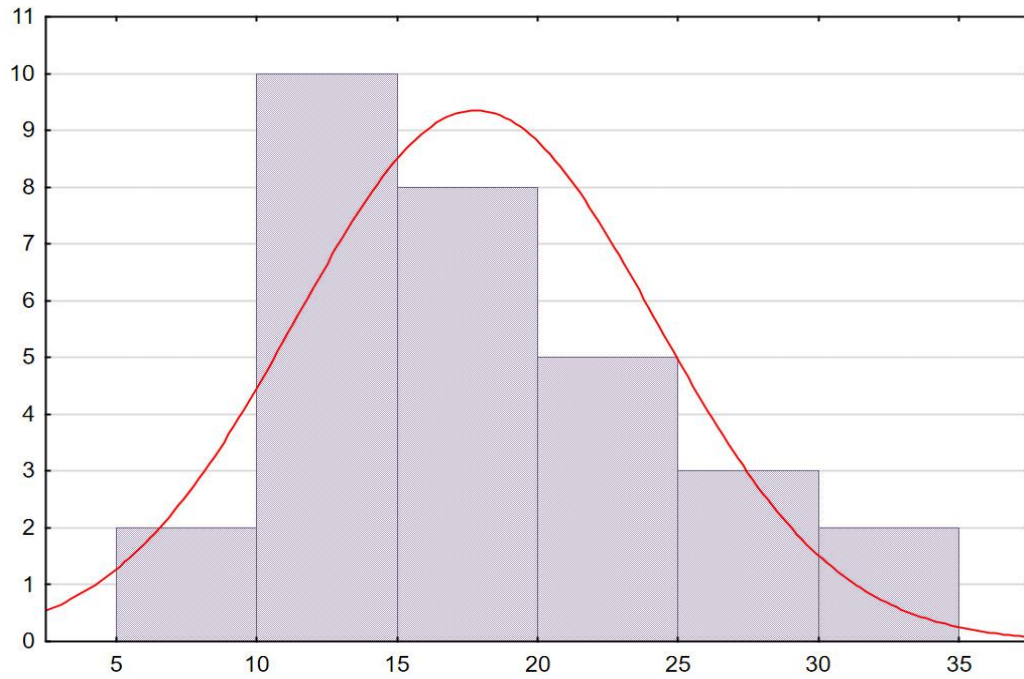
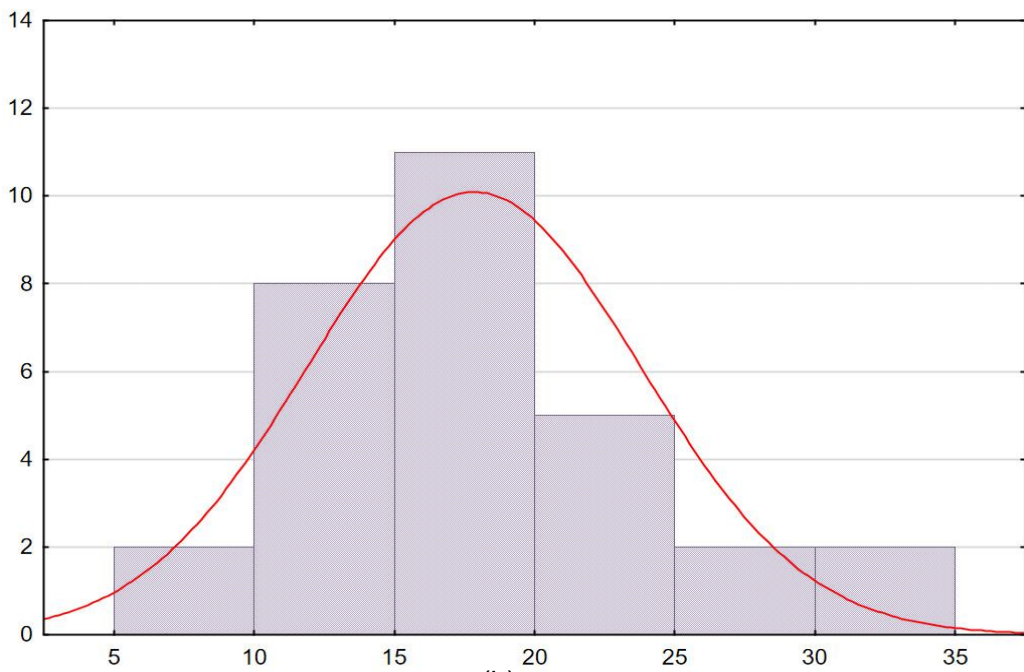


Figura 19. Microscopía electrónica de barrido de granulos de almidón de Chuño

Según Robles (2012) observó micrografías similares en los granulos de almidón de papa nativa, de tamaño pequeño con formas circulares y otros de tamaño grande con forma elíptica, además mostraron una distribución normal de tamaño (7.29 a 76.2 μm) lo cual dio como resultado granulos pequeños (2.0 a 27 μm), medianos (27 a 52 μm) y grandes (>52 μm), el rango de tamaños medianos coincide con los diámetros del AT de la tunta y chuño. McPherson (1999) observó que los almidones de papa tenían formas granulares grandes, redondeadas u ovals con diámetros axiales de 12 a 37 μm , rango en la cual se encuentra los tamaños del AT de tunta y chuño. Moorthy (2002) informó que los almidones de papa tienen formas esféricas y ovoide de 33 μm de tamaño, un tamaño mayor del almidón de tunta y chuño, también informa que el tamaño de los granulos afecta algunas propiedades funcionales como la hinchazón, la solubilidad y la digestibilidad (Hernández et al., 2008; Alvis et al., 2008, Hoover, 2001; Swinkels, 1985).

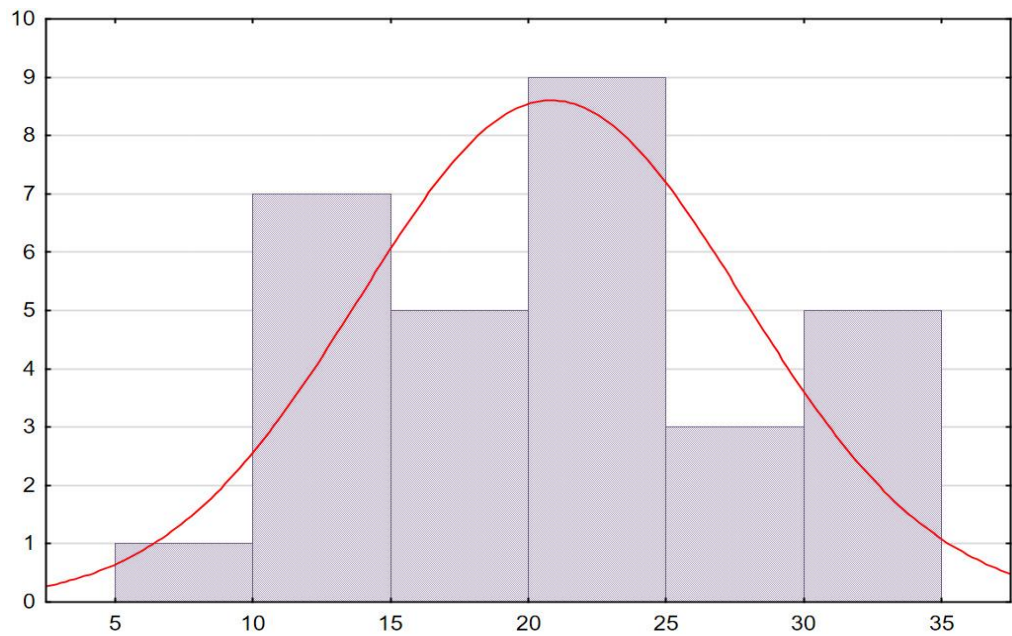


(a)

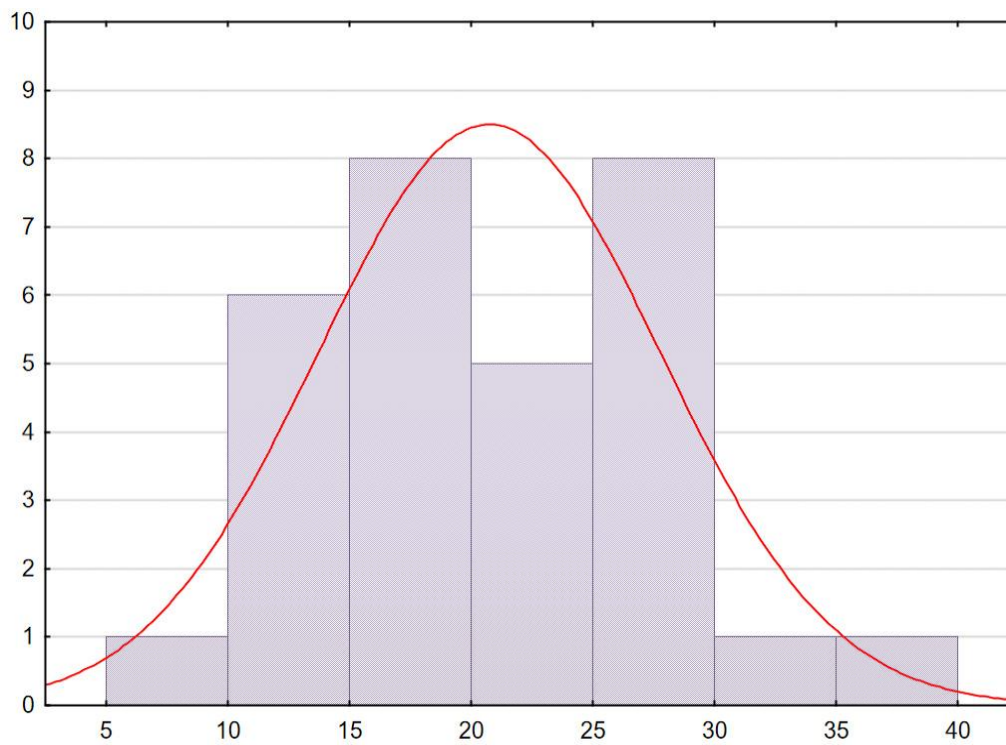


(b)

Figura 20. Distribución normal del diámetro de esfera de ATT (a) y ATC (b)

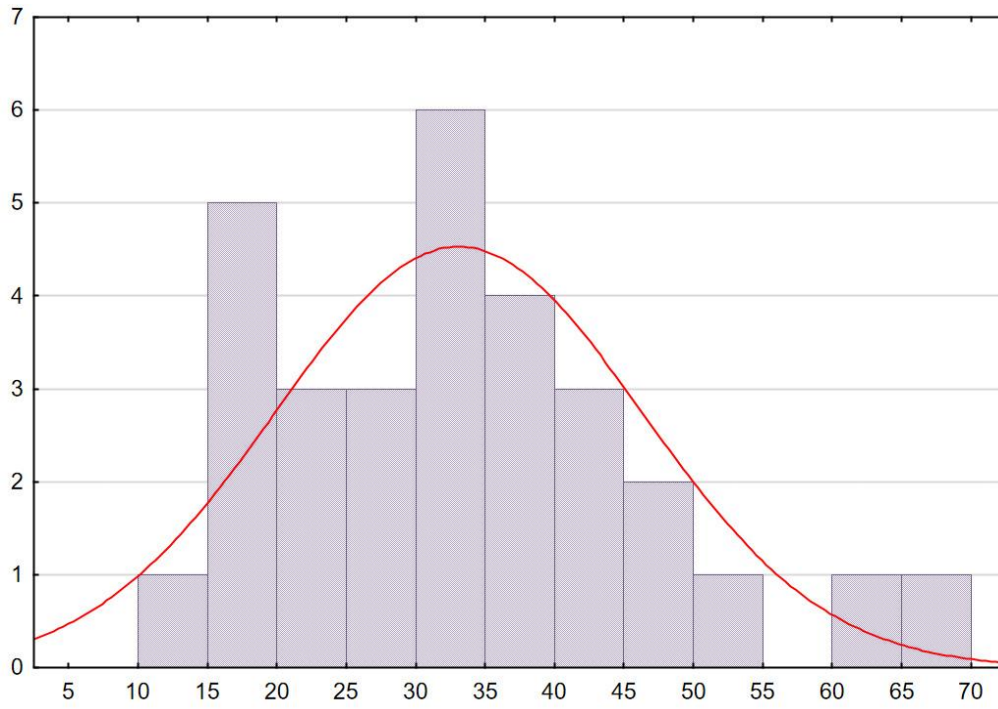


(a)

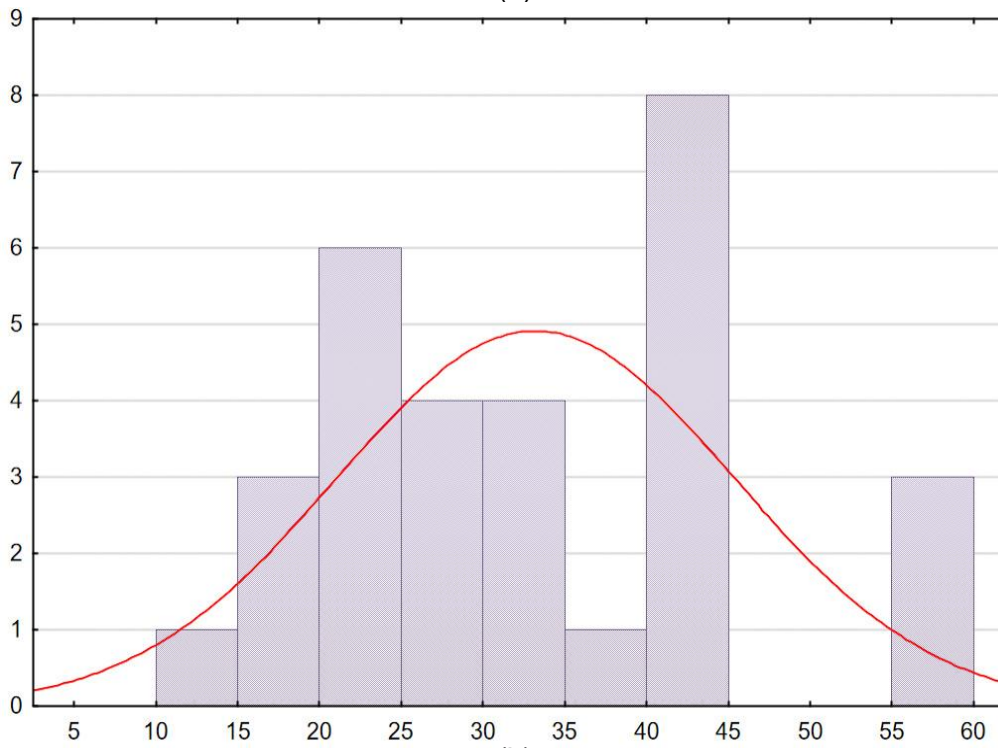


(b)

Figura 21. Distribución normal del diámetro menor de forma elípticas de ATT (a) y ATC (b)



(a)



(b)

Figura 22. Distribución normal del diámetro mayor de forma elípticas de ATT (a) y ATC (b)

Por consiguiente, la morfología de los gránulos de almidón depende de la bioquímica de los cloroplastos o amiloplastos, así como como fisiología vegetal. Por otra parte, existen varios factores que también pueden afectar las propiedades del gránulo, como los ambientales (la temperatura, el almacenamiento y la cultura), las propiedades fisicoquímicas y térmicas ((Singh, Singh, Kaur y Singh, 2003; Kaur, Singh, Ezekiel y Singh, 2009).

4.4 Cuantificación de almidón resistente de la tunta (ART) y chuño (ARC)

En la Tabla 19, se indicó la cuantificación del almidón resistente de la tunta y chuño, donde se evaluó la influencia de las variables estudiadas de agitación (RPM), temperatura (°C) y tiempo (min).

Tabla 19. Rendimiento de almidón resistente de la tunta y chuño

Ensayos	Codificados			No codificados			Rendimiento de AR de Tunta (%)	Rendimiento de AR del chuño (%)
	X ₁	X ₂	X ₃	Agitación (RPM)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Promedio ± SD	Promedio ± SD
1	-1	-1	-1	2000	30	20	39.03 ± 2.26	58.79 ± 1.86
2	-1	0	1	2000	35	40	26.37 ± 0.98	45.96 ± 2.85
3	-1	1	0	2000	40	30	38.66 ± 2.92	23.26 ± 1.92
4	0	-1	1	3000	30	40	44.45 ± 0.88	45.08 ± 1.00
5	0	0	0	3000	35	30	30.01 ± 8.06	40.11 ± 1.47
6	0	1	-1	3000	40	20	48.23 ± 0.83	27.33 ± 3.63
7	1	-1	0	4000	30	30	26.84 ± 1.16	42.31 ± 0.38
8	1	0	-1	4000	35	20	24.29 ± 0.65	25.95 ± 1.23
9	1	1	1	4000	40	40	30.57 ± 1.66	29.33 ± 9.03

En la Tabla 19 se mostró el rendimiento del almidón resistente de la tunta, el cual se encuentra en el rango de 24.29 a 48.23 %, correspondiendo el mayor porcentaje al tratamiento 6 (3000 RPM, 40°C y 20 min); el cual presentó diferencias significativas de $p < 0.05$ comparando con los demás tratamientos. Aprianita, Purwandari, Watson y Vasiljevic (2009) mencionan un rendimiento de almidón resistente muy próximos al AR de la tunta, donde el almidón de los tubérculos taro y ñame posee un 44.98 y 68.50 % de almidón resistente, de la misma manera mencionan que la elección del almidón puede tener efectos significativos, especialmente en la relación con los productos alimenticios elaborados, debido a que tienen beneficios para la salud, e incluso el rendimiento del almidón resistente está relacionada con el valor de digestibilidad.

En la Tabla 20, se expuso el análisis de varianza (ANOVA) sobre los rendimientos de almidón resistente de la tunta (la interacción de las variables que influyen significativamente en el rendimiento). La variable que fue más significativa es la agitación (RPM) mostrando un punto óptimo, donde la variable cuadrática influye para un mayor rendimiento y la variable lineal para un menor rendimiento de ART. Seguidamente, la variable temperatura² (°C) y, el tiempo de componente cuadrático/lineal también obtuvieron influencia para un menor rendimiento. Leszczynski (2004) informó que, durante el tratamiento térmico de los tubérculos, el almidón se gelatiniza y se digiere casi por completo, incluso manifiesta que el contenido de almidón resistente aumenta sustancialmente con el enfriamiento y calentamiento múltiple de esos productos.

Tabla 20. Análisis de varianza (ANOVA) del rendimiento del AR de la tunta $R^2=0.90186$; $R_{ajustado}=0.87279$

Factor	SC	gl	MC	F	p
(1) Agitación (RPM) (L)	333.38	1	333.38	35.08	0.00
Agitación (RPM) (Q)	789.79	1	789.79	83.11	0.00
(2) Temperatura (°C) (L)	0.45	1	0.45	0.05	0.83
Temperatura (°C) (Q)	642.62	1	642.62	67.63	0.00
(3) Tiempo (t) (L)	68.85	1	68.85	7.25	0.01
Tiempo (t) (Q)	106.77	1	106.77	11.24	0.00
1L by 3L	20.54	1	20.54	2.16	0.15
1L by 3Q	23.77	1	23.77	2.50	0.13
Error Puro	256.57	27	9.5026		
Total, SC	2614.42	35			

Respeto al rendimiento de almidón resistente de chuño se encontraron en un rango de 23.26 a 58.79 % (Tabla 19), donde el tratamiento 1 (2000 RPM, 30°C y 20 min) presentó mayor rendimiento. Llor (2008) analizó el almidón nativo de papa, obteniendo un rendimiento de 18.28 % de almidón resistente, que fue relativamente bajo en comparación con el almidón de chuño.

Además, en la Tabla 21 se muestra el ANOVA, que muestra la significancia de las variables. Donde la variable más significativa es la temperatura (°C) siendo un componente lineal, interviniendo para un menor rendimiento de ARC. En segundo lugar, se encuentra la agitación (RPM) (lineal) que presentó significancia participando para un menor rendimiento; pero las interacciones 1 by 3 de componentes lineal/cuadrático obtuvieron significancia influyendo para un mayor rendimiento y, por último, la temperatura² (°C) y el tiempo² (min) obtuvieron significativa.

Tabla 21. Análisis de varianza (ANOVA) del rendimiento del AR del chuño $R^2=0.92851$; $R_{ajustado}=0.90733$

Factor	SC	gl	MC	F	p
(1) Agitación (RPM) (L)	617.03	1	617.03	48.35	0.00
Agitación (RPM) (Q)	0.07	1	0.07	0.01	0.94
(2) Temperatura (°C) (L)	673.93	1	673.93	52.81	0.00
Temperatura (°C) (Q)	220.08	1	220.08	17.24	0.00
(3) Tiempo (t) (L)	46.02	1	46.02	3.61	0.07
Tiempo (t) (Q)	98.86	1	98.86	7.75	0.01
1L by 3L	482.27	1	482.27	37.79	0.00
1L by 3Q	302.54	1	302.54	23.71	0.00
Error Puro	344.569	27	12.7618		
Total, SC	4819.851	35			

Las superficies de respuesta para el almidón resistente de la tunta fueron mostradas en la Figura 23, donde se presenta la interacción de las variables estudiadas (temperatura (°C), agitación (RPM) y tiempo (min)) que afectan el rendimiento del ART; donde se observa que las interacciones de las variables no influyen significativamente en el rendimiento, pero si existe significancia en las variables estudiadas sin interacción. Se presentó la interacción de la temperatura (38 a 40 °C) y la agitación (2600 a 3000 RPM); el tiempo (28 a 32 min) y la temperatura (38 a 40 °C); y por último, la agitación (2800 a 3200 RPM) y el tiempo (28 a 34 min). En el que, los mejores valores de las interacciones entre la temperatura, agitación y tiempo fueron a 40 °C, 2900 RPM y 28 min.

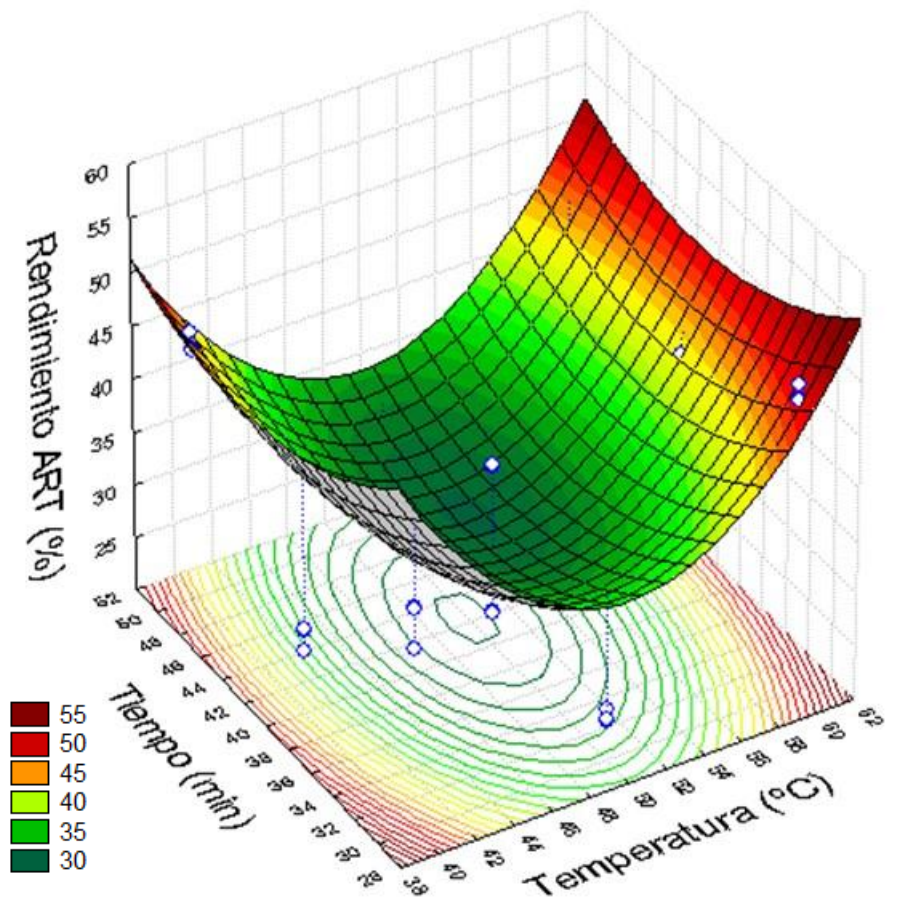
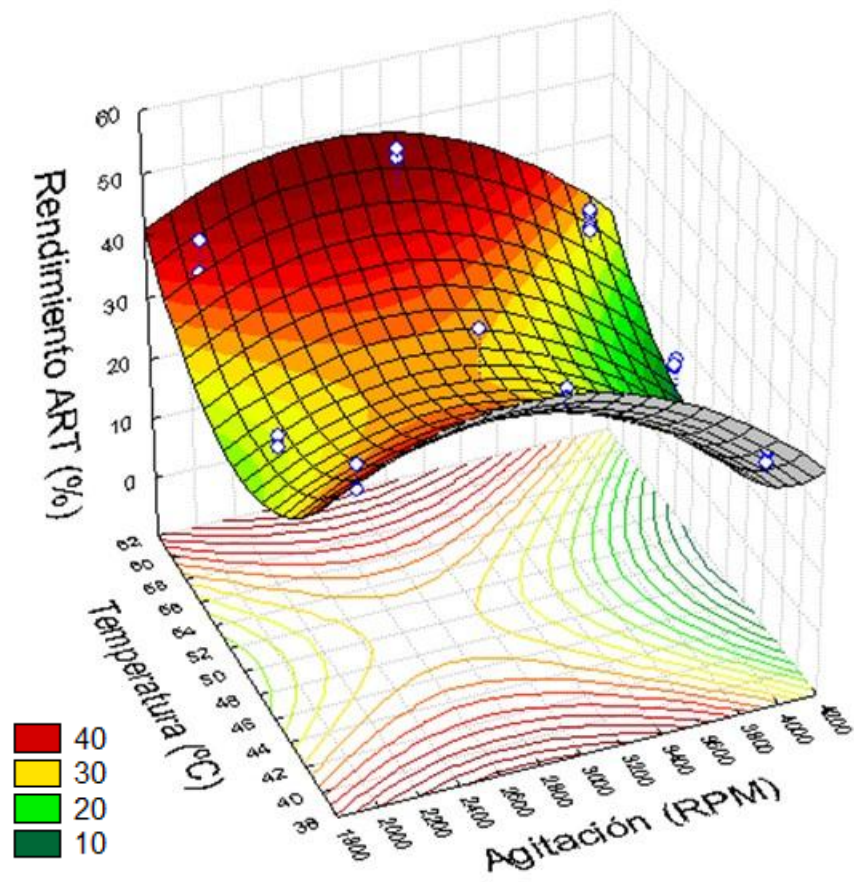


Figura 23. Gráfico de superficie de respuesta para el rendimiento del almidón resistente de la tunta (ART)

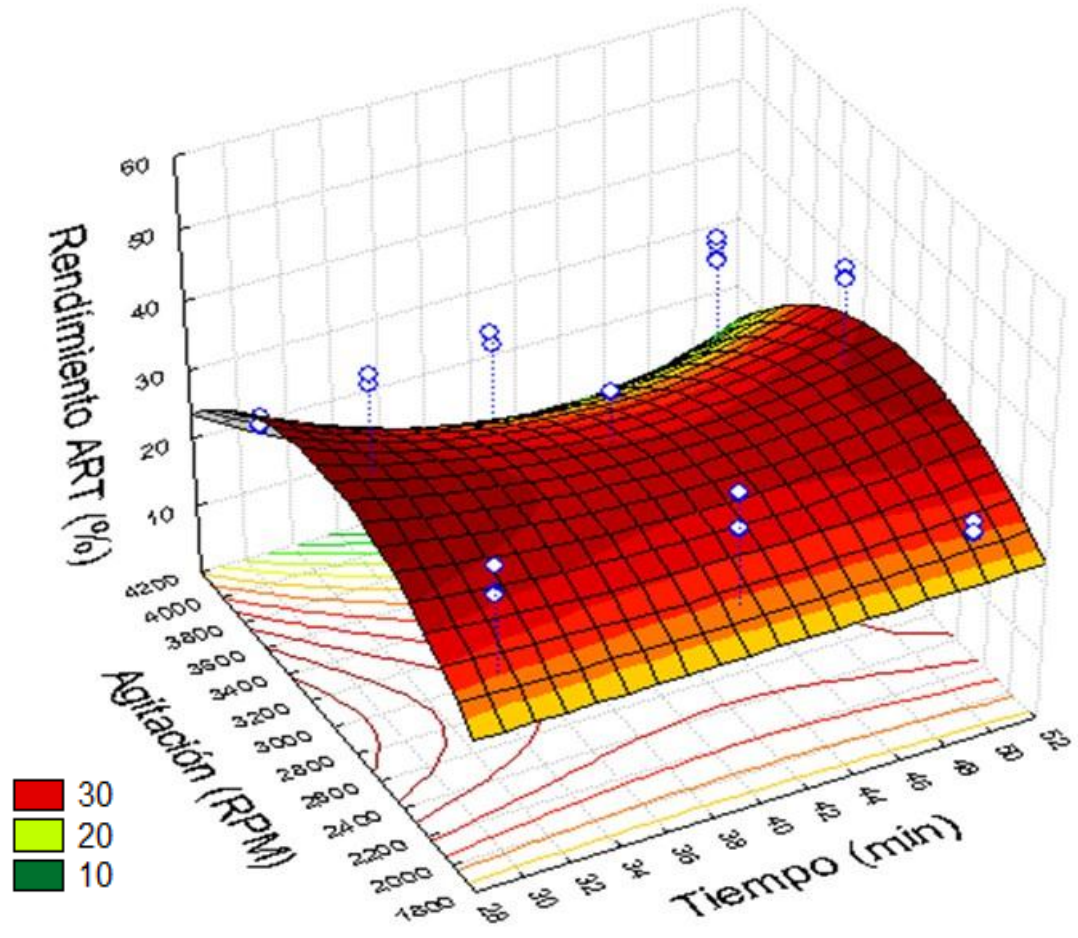


Figura 23. Gráfico de superficie de respuesta para el rendimiento del almidón resistente de la tunta (ART) (continuación)

La ecuación del modelo ajustado para el rendimiento % del AR de la tunta correspondiente es:

$$\text{Rendimiento ART} = 176.32 + 0.11A - 0.000001A^2 - 12.66T + 0.13T^2 + 4.55t - 0.05t^2 - 0.0025At + 0.00003At^2 + 97.33 \dots \text{ (Ecuación 10)}$$

Donde:

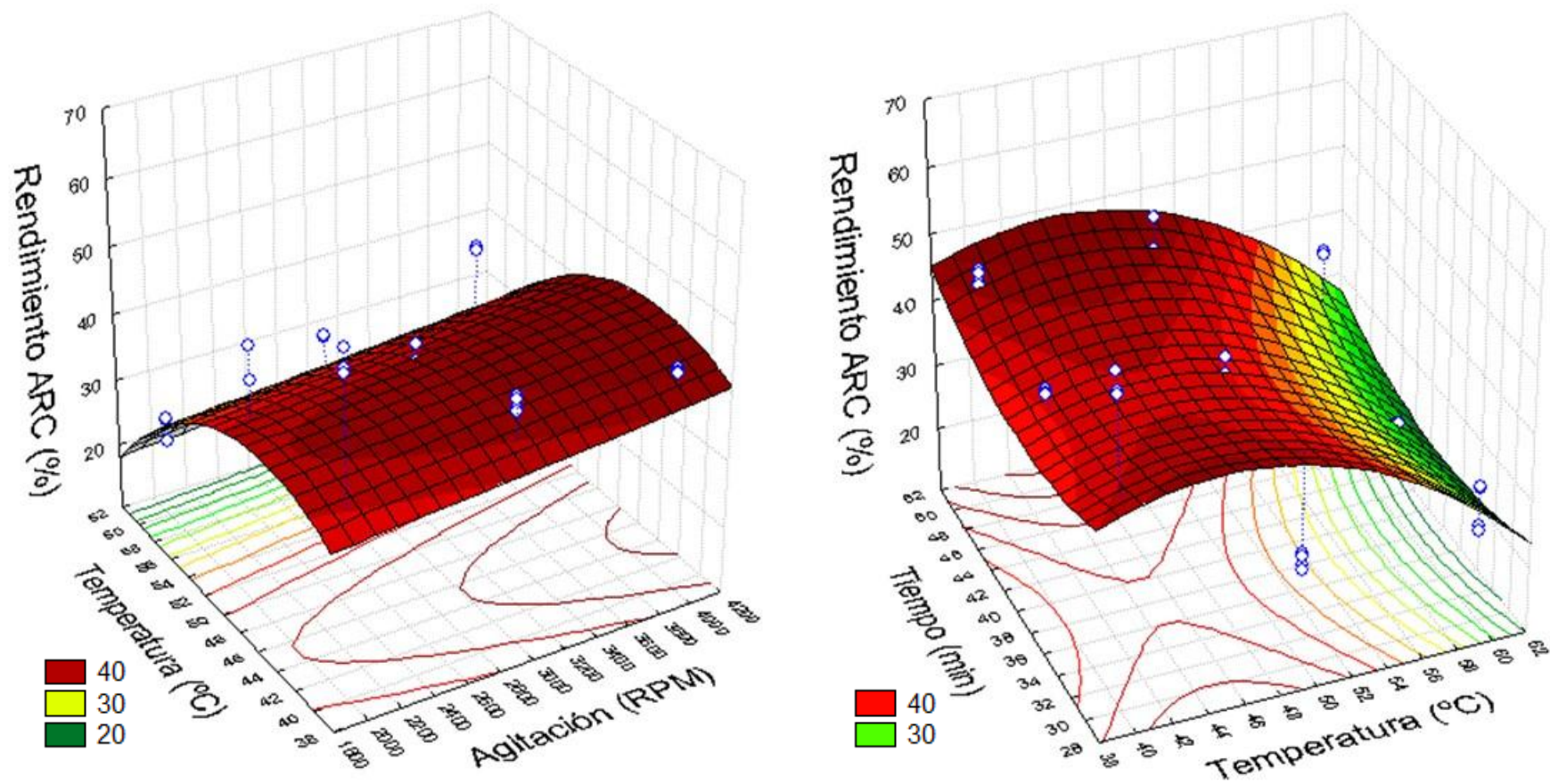
T: temperatura, °C

t: tiempo, min

A: agitación, RPM

Para el AR tunta (Ecuación 10), los coeficientes significativos de la regresión es la agitación² (RPM) con un coeficiente -0.000001, donde se obtiene una tendencia descendente para un mayor rendimiento y la temperatura² (°C) con un coeficiente 0.13, que tiene una tendencia ascendente para un menor rendimiento. Encontrándose a $R^2=0.90186$; $R_{\text{ajustado}}=0.87279$.

En la Figura 24, fue presentado las superficies de respuesta mostrando las interacciones de las variables estudiadas (temperatura (°C), agitación (RPM) y tiempo (min)) que afectan en el rendimiento del ARC. Se observó la interacción de la temperatura (38 a 48 °C) y la agitación (2000 a 4200 RPM); el tiempo (28 a 34 min) y la temperatura (38 a 50 °C) y, por último, la agitación (1800 a 2400 RPM) y el tiempo (28 a 32 min). En el que, los mejores valores de las interacciones entre la temperatura, agitación y tiempo fueron a 38 °C, 2400 RPM y 28 min.



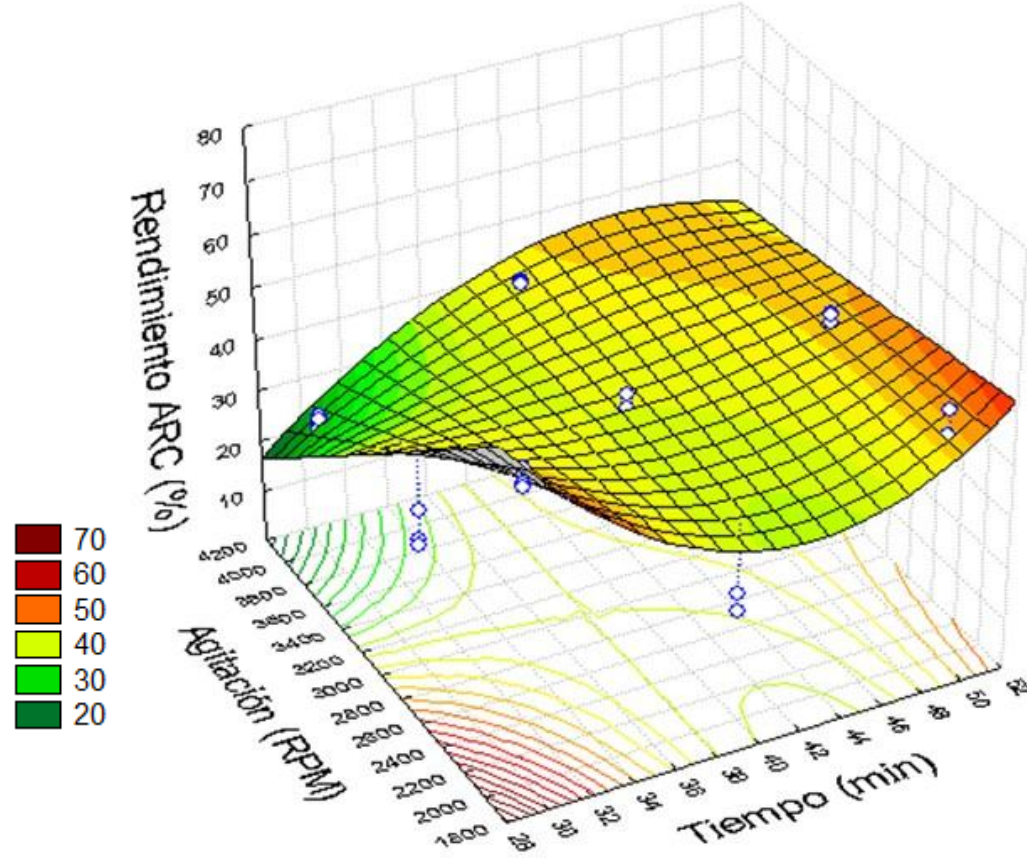


Figura 24. Gráfico de superficie de respuesta para el rendimiento del almidón resistente del chuño (ARC) (continuación)

La ecuación del modelo ajustado para el rendimiento % del AR del chuño correspondiente es:

$$\text{Rend. AR Chuño} = 542.04 - 0.20A + 0.00000009A^2 + 6.67T - 0.07T^2 - 30.57t + 0.35t^2 + 0.01At - 0.00011At^2 - 655.14 \dots \text{ (Ecuación 11)}$$

Donde:

T: temperatura, °C

t: tiempo, min

A: agitación, RPM

Para el AR chuño (Ecuación 11), el mejor coeficiente de la regresión es la temperatura (°C) con un coeficiente 6.67, tiene una tendencia ascendente que influye para un menor rendimiento. Incluso la agitación (RPM) con un coeficiente -0.20, influye para un menor rendimiento con una tendencia descendente. Encontrándose a $R^2=0.92851$; $R_{\text{ajustado}}=0.90733$.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

En el aislamiento del almidón se mostró mejor rendimiento a 0.20 % de NaOH y 2500 RPM en la tunta y 0.25 % NaOH y 4500 RPM en el chuño, donde se tuvo mayor rendimiento en el almidón total de chuño (73.28 %) en comparación con la tunta (69.61 %), en base de esto se da como evidencia que ambas variables (NaOH y agitación) tuvieron influencia en el rendimiento del almidón total. Por ende, el mejor rendimiento mostró la tunta (71.67 %) ya que el chuño obtuvo un rendimiento menor (50.89 %).

Comparativamente, existe diferencias entre los almidones de la tunta y chuño en cuanto a los análisis físico-químicos (humedad (9.18 y 10.64 %), proteína (0.27 y 0.35 %), grasa (0.03 y 0.01 %), fibra cruda (0.36 y 0.89 %), ceniza (0.29 y 0.45 %), carbohidratos (89.87 y 87.67 %), amilosa (14.89 y 20.21 %), amilopectina (85.11 y 79.79 %), índice de absorción de agua (7.11 y 8.00%), solubilidad de agua (1.31 y 2.29 %), poder de hinchamiento (7.21 y 8.19 %), claridad de gel (21.27 y 17.47%) y colorimetría (L=76.53 y 67.33). De igual modo, en las propiedades térmicas, puesto que la mayor temperatura de gelatinización fue en el almidón de tunta (65.21 °C) que del almidón de chuño (63.69 °C), almidones puede adaptarse en el uso de productos que no necesiten temperaturas muy altas, también en las entalpías de gelatinización el almidón de tunta (14.09 J/g) fue mayor que el de chuño (13.62 J/g). La difracción de rayos X presentaron similar patrón de tipo B en el almidón de tunta y chuño e incluso en ambos almidones se pudo formar cristales. En cuanto a la distribución de tamaños, los gránulos de almidón de tunta y chuño presentaron las mismas formas de esfera y elipse de diámetro mayor y menor.

Al evaluar la relación de las propiedades del almidón de tunta y chuño se empleó el diagrama de caja box, mostrando significancia en los contenidos amilosa, amilopectina, claridad de gel, luminosidad y gelatinización, debido a la desigualdad que existe entre los valores de estas variables independientes. Pero en el caso de absorción de agua,

solubilidad, poder de hinchamiento y entalpía no se observó diferencia significativa, porque no hubo una notable diferencia en sus contenidos.

La cuantificación de almidón resistente presento mayor rendimiento a 3000 RPM, 40 °C, 20 min en el almidón de tunta y 2000 RPM, 30 °C, 20 min en el almidón de chuño, para lo cual, el ATC (58.79%) indico mayor rendimiento de AR que el ATT (48.23%), por lo que se puede decir que las tres variables (RPM, T°C y t) afectan en el rendimiento del almidón resistente.

RECOMENDACIONES

- Evaluar el comportamiento reológico del almidón de tunta y chuño, para conocer qué tipo de aplicación se puede dar en la industria alimentaria en donde se requiera aumentar el poder espesante del producto final.
- Analizar las medidas dinámicas de viscoelasticidad del almidón para describir el comportamiento viscoelástico de dicha muestra y conocer la resistencia del almidón al emplearlo en una formulación de alimentos.
- Obtener y caracterizar los cristales de nanoalmidones de chuño y tunta para desarrollar biopelículas activas.

REFERENCIAS

A.O.A.C. (2005). Official methods of analysis of AOAC International. 18 ed. Maryland, US, editorial Board. 2v.

Aguilera, Y. (2009). *Harinas de Leguminosas deshidratadas: Caracterización Nutricional y Valoración de sus propiedades Tecno-Funcionales* (tesis doctoral). Universidad Autónoma de Madrid, Madrid.

Alayo, B. (2015). *Caracterización Fisicoquímica y Reológico de almidón de arracacha (Arracacia xanthorrhiza) variedad amarilla procedente de la provincia San Ignacio - departamento de Cajamarca* (tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Perú.

Altemimi, A. (2018). Extraction and optimization of potato starch and its application as a stabilizer in yogurt manufacturing. *Foods*, 7 (14), 1-11; doi: 10.3390/foods7020014

Alvis, A., Vélez, C., Villada, H., y Rada, M. (2008). Análisis Físico-Químico y Morfológico de Almidones de Ñame, Yuca y Papa y Determinación de la Viscosidad de las Pastas. *Información Tecnológica*, 19 (1), 19-28.

Andre, C., Legay, S., Iammarino, C., Ziebel, J., Guignard, C., Larondelle, Y., Hausman, J., Evers, D., & Miranda, L. (2014). The Potato in the human diet: a complex matrix with potential health benefits. *Potato Research*, 1-11. doi 10.1007/s11540-015-9287-3.

Aprianita, A., Purwandari, U., Watson, B., & Vasiljevic, T. (2009). Physico-chemical properties of flours and starches from selected commercial tubers available in Australia. *International Food Research Journal*, 16, 507-520.

Aristizábal, J., y Sánchez, T. (2007). Análisis Fisicoquímico del almidón. En D. Mejía. (Ed.), *Guía Técnica para producción y análisis de almidón de yuca*, Roma, Italia: FAO, 61-91.

Arntzen, C. (sf). Technology Progression in Plants used for Food and Medicine. *Integratin Agriculture*, 53-60.

Bejarano, E., Bravo, M., Huamán, M., Huapaya, C., Roca, A. y Rojas, E. (2002). Tubérculos y derivados. En Centro Nacional de Alimentación y Nutrición. (Ed.), *Tabla de composición de alimentos industrializados*, Lima, Perú: INS, 40.

Bello, L; Contreras, S; Romero, R; Solorza, J; Jiménez, A. (2002). Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano *Musa paradisiaca* L. (VAR.

MACHO). *Agrociencia*, 36 (2), 169-180. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/302/30236204.pdf>

Bernal, L. (2006). Una nueva visión de la degradación del almidón. *Revista Centro de Investigación*, 7 (25), 77-90. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=34202506>

Bohórquez, P., Bonilla, M., Pérez, I., Quintero, S., y Vargas, J. (2017). Caracterización y potencial uso de la raíz achira (*Canna Edulis Ker*). *Vía Innova* 4 (1), 89-97. doi: 10.23850/2422068X.1184

Bonierbale, M., Amoros, W., Mihovilovich, E., & Gomez, R. (2004). Recursos Genéticos de la papa: don del pasado, legado para el futuro. *Suplemento Revista Latinoamericana de la papa*, 63, 1–12.

Burgos, G., Haan, S., Salas, E., & Bonierbale, M. (2009). Protein, iron, zinc and calcium concentrations of potatoes following traditional processing as “chuño”. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22, 617-619.

Buzati, B., & Leonel, M. (2014). Resistant starch in cassava products. *Food Science and Technology*, 1-5. doi: 10.1590/fst.2014.0039

Canónico, M. (2003). *Agregación en gránulo de almidón* (tesis doctoral). Universidad Autónoma de Querétaro, México.

Cerestar, B. (2002). Almidón Resistente fácilmente fermentable. *Boletín Europeo de patentes*, 2-14.

Ceron, A., Bucheli, M., y Osorio, O. (2014). Elaboración de galletas a base de harina de papa de la variedad Parda Pastusa (*Solanum tuberosum*). *Acta Agronómica*, 63, 1–12.

Chen, F. (1990). *Effects of amylose and amylopectin on the functional properties of starch* (thesis of master). Iowa State University, United States.

Chen, W., Zhou, H., Yang, H., & Cui, M. (2015). Effects of charge-carrying amino acids on the gelatinization and retrogradation properties of potato starch. *Food Chemistry*, 167, 180–184. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.06.089

Christiansen, J., & Thompson, N. (1971). The Utilization of “Bitter” Potatoes in the cold tropics of Latin America. *The International society for tropical root crops*. 212-221.

Chung, H., Liu, Q., & Hoover, R (2009). Impact of annealing and heat-moisture on rapidly digestible, slowly digestible and resistant starch levels in native and gelatinized corn,

pea and lentil starches. *Carbohydrate Polymers*, 75 (3), 436-447. doi: 10.1016/j.carbpol.2008.08.006

Córdova, V. (2014). *Estudio de los aportes funcionales de la papa (Solanum tuberosum) y desarrollo de los productos alimenticios* (tesis de pregrado). Universidad de las Américas. Chile.

Cruz, J., Siche, R., Cabanillas, A., Díaz, L., Vejarano, R., & Tapia, D. (2017). Properties of baked foams from oca (*Oxalis tuberosa*) starch reinforced with sugarcane bagasse and asparagus peel fiber. *Procedia engineering*, 200, 178 – 185.

Escobar, A., y Verela, J. (2008). *Aprovechamiento de la harina de papa criolla (Solanum phureja) como sustituto parcial de la sémola de trigo en la formulación y elaboración de una pasta alimenticia tipo Spaghetti* (tesis de pregrado). Universidad de la Salle, Bogotá.

Espinoza, R. (2012). *Relación entre el contenido de fósforo y algunas propiedades térmicas y reológicas en almidón de papa nativa de Chiloé* (tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile, Chile.

Espinoza, V. (2008). *Estudios estructurales de Almidón de fuente no convencionales: Mango (Mangifera indica L.) y plátano (Musa paradisiaca L.)* (tesis de maestría). Instituto Politécnico Nacional, México.

Estrada, A., Pérez, B., Martínez, C., Montañez, S., Jimenez, J., y Vivar, M. (2009). Producción enzimática de maltodextrinas a partir de almidón de malanga (colocasia esculenta). *Journal of Food*, 7 (3), 233-241. doi: 10.1080/19476330903091300

Fabbi, A., Schacht, R., & Crosby, G. (2016). Evaluation of resistant starch content of cooked black beans, pinto beans, and chickpeas. *NFS Journal*, 3, 8-12. doi: 10.1016/j.nfs.2016.02.002

Fatemesh, H., & Abdorreza, N. (2014). Preparation and characterization of bionanocomposite films based on potato starch/halloysite nanoclay. *International Journal of Biological Macromolecules*, 67, 458-462. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2014.04.009

Figuroa, M. (2009). *Strategies to develop market Access in the Bolivian highlands: two case studies for chuño and tunta* (tesis de maestría). Universidad de Missouri, Colombia.

Flores, S. (2004). *Obtención de almidón con tamaño de partícula reducido mediante pulverización mezclado con alta energía* (tesis de maestría). Instituto Politécnico Nacional, México.

Fonseca, C., & Ordinola, M. (2017). Promoting innovations in the peruvian altiplano the case of tunta, an ancestral product. *International Society for Tropical Root Crops (ISTRC)*, 58-64.

Fonseca, C., Huarachi, E., Chura, W., y Cotrado, G. (2008). *Guía de las buenas prácticas de procesamiento para la producción artesanal de la tunta*. Puno, Perú: Departamento de Comunicación y Difusión, 6-26.

Fonseca, C., Huarachi, E., y Ordinola, M. (2011). Una experiencia de innovación tecnológica y difusión en la producción artesanal de la papa deshidratada: tunta. *Latinoamericana de la papa*, 16 (1), 101-125.

Forsyth, J., Ring, S., Noel, T., Paul, R., Findlay, K., & Shewry, P. (2002). Characterization of Starch from Tubers of Yam Bean (*Pachyrhizus ahipa*). *Agricultural and Food Chemistry*, 50, 362-367. doi: 10.1021/jf0108922

Fuentes, E., Sánchez, E., Sendra, E., Sayas, E., Navarro, C., Fernández, J., & Pérez, J. (2011). Resistant starch as prebiotic: A review. *Wiley-VCH*, 63, 1-10. doi: 10.1002/star.201000099

Gao, H., Huang, S., Dong, T., Yang, Q., & Yi, G. (2016). Analysis of resistant starch degradation in postharvest ripening of two banana cultivars: Focus on starch structure and amylases. *Postharvest Biology and Technology*, 119, 1-8. doi: 10.1016/j.postharvbio.2016.03.022

Gichuhi, P., Kpomblekou, K., & Bovell, A. (2014). Nutritional and physical properties of organic Beauregard sweet potato [*Ipomoea batatas* (L.)] as influenced by broiler litter application rate. *J. Food Science Nutrition*, 2, 332-340. doi: 10.1002/fsn3.108

Giuberti, G., Marti, A., Fortunati, P., & Gallo, A. (2017). Gluten free rice cookies with resistant starch ingredients from modified waxy rice starches: Nutritional aspects and textural characteristics. *Cereal Science*, 76, 157-164. doi: 10.1016/j.jcs.2017.06.008

Goñi, I., Garcia, L., Mañas, E., & Saura, F. (1996). Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. *Food Chemistry*, 56 (4), 445-449.

Guerrero, D. (2014). Seminario de Almidón, Gelatinización y Retrogradación. Recuperado de http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Seminario-Almidon_27067.pdf

Guidi, A., Esprella, R., Aguilera, J., y Devaux, A. (2002). *Características de la Cadena Agroalimentaria de Chuño y Tunta para el Altiplano Central de Bolivia*. Cochabamba, Bolivia: Proyecto Papa Andina.

Gunaratne, A., & Hoover, R. (2002). Effect of heat – moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. *Carbohydrate Polymers*, 49, 425-437.

Haan, S., Burgos, G., Arcos, J., Ccanto, R., Scurrah, M., Salas, E., & Bonierbale, M. (2010). Traditional Processing of Black and White Chuño in the Peruvian Andes: Regional Variants and Effect on the Mineral Content of Native Potato Cultivars. *Economy Botany*, 1-18. Recuperado de http://www.yanapai.org/wp/wp-content/uploads/2014/08/2010_DeHaan_Chuno.pdf

Haan, S., Burgos, G., Arcos, J., Ccanto, R., Scurrah, M., Salas, E., & Bonierbale, M. (2011). Effect of production environment, genotype and process on the mineral content of native bitter potato cultivars converted into White chuño. *Journal Science Food Agriculture*, 92(10), 1-8. doi 10.1002/jsfa.5589.

Haan, S., Burgos, G., Arcos, J., Ccanto, R., Scurrah, M., Salas, E., & Bonierbale, M. (2009). The effect of process and environment on the nutritional value of Chuño. *International Society for Tropical Root Crops*, 7-23. Recuperado de <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20163245983>

Hernández, M., Torruco, J., Chel, L., y Betancur, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciênc. Tecnol. Aliment*, 28 (3), 718-726.

Hoover, R. (2001). Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. *Carbohydrate Polymers*, 45, 253-267.

Hoover, R., & Vasanthan, T. (1994). Effect of heat – moisture treatment on the structure and physicochemical properties of cereal, legume, and tuber starches. *Carbohydrate Research*, 252, 33-53.

Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (2009). *Perú, consumo per cápita de los principales alimentos 2008-2009*. Recuperado de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1028/cap01.pdf

Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (2015). *Perú, enfermedades no transmisibles y transmisibles 2014*. Recuperado de <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/3704.pdf>

Jallaza, W. (2007). *Estudio de la biodiversidad de la papa (Solanum sp) y su importancia en la transformación en chuño* (tesis de pregrado). Universidad Mayor de San Simón, Bolivia.

Jiménez, R., González, N., Magaña, A., y Corona, A. (2011). Contenido de Almidón Resistente en Alimentos consumidos en el sureste de México. *Unacar tecnociencia*, 5(2), 27-34.

Julca, B. (2016). *Impacto de gorgojo de los andes (Premnotrypes spp.) en la producción y comercialización del chuño blanco en las economías campesinas del departamento de Puno* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria de la Molina, Perú.

Kale, R., Shere, M., Sontakke, M., & Gadhe, K. (2017). Effect of isolation methods on physicochemical and functional properties of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) starch. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6 (4), 223–227.

Kallpa Foods S.A.C. (sf). Recuperado de <http://www.kallpafoods.com.pe/pdf/harina-de-chuno.pdf>

Kamal, M., Islam, M., & Aziz, M. (2013). Effect of sweet potato flour of two local varieties on quality of breads. *J. Bangladesh Agril. Univ.*, 11 (2), 301-3016.

Kaur, A., Singh, N., Ezekiel, R., & Singh, N. (2009). Properties of starch separated from potatoes stored under different conditions. *Food Chemistry*, 114, 1396-1404. doi: 10.1016/j.foodchem.2008.11.025

Koteswara, C., Haripriya, S., Noor, M., & Suriya, M. (2014). Preparation and characterization of resistant starch III from elephant foot yam (*Amorphophallus paeonifolius*) starch. *Food Chemistry*, 155, 38–44. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.01.023

Lertwanawatana, P., Frazier, R., & Niranjana, K. (2015). High pressure intensification of cassava resistant starch (RS3) yields. *Food Chemistry*, 181, 85–93. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.02.005

Leszczynski, W. (2004). Resistant starch – classification, structure, production. *Polish journal of food and nutrition sciences*. 54 (1), 37-50.

Li, Y., Xu, J., Zhang, L., Ding, Z., & Gu, Z. (2017). Investigation of debranching pattern of a thermostable isoamylase and its application for the production of resistant starch. *Carbohydrate Research*, 447, 93-100. doi: 10.1016/j.carres.2017.05.016

Lim, M., Wu, H., & Reid, D. (2000). The effect of starch gelatinization and solute concentrations on Tg of starch model system. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 1757-1762.

Lin, J., Kao, W., Tsai, Y., & Chang, Y. (2013). Effect of granular characteristics on pasting properties of starch blends. *Carbohydrate Polymers*, 98 (2), 1553–1560. doi: 10.1016/j.carbpol.2013.07.039

Loor, K. (2008). *Efecto de varios ciclos de enfriamiento/calentamiento en el contenido de almidón resistente tipo III en almidones de achira (Canna edulis ker) y papa (solanum tuberosum)* (tesis de pregrado). Universidad San Francisco de Quito, Quito.

McPherson, J. (1999). Comparison of waxy potato with other root and tuber starches. *Carbohydrate Polymers*, 40, 57-70.

Meaño, N., Ciartella, A. T., & Dorta, A. M. (2014). Evaluación de las propiedades químicas y funcionales del almidón nativo de ñame congo (dioscorea bulbifera l.) Para predecir sus posibles usos tecnológicos. *Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente*, 26 (2), 182-187.

Medina, P., y López, A. (2011). Análisis crítico del diseño factorial 2^k sobre casos aplicados. *Scientia et Technica*, 1 (47), 101-106.

Miranda, M., & Aguilera, J. (2006). Structure and Texture properties of fried potato products. *Food Reviews International*, 22, 173-201. doi 10.1080/87559120600574584.

Miranda, P., Marruego, Y., y Montero, P. (2013). Caracterización funcional del almidón de frijol zaragoza (Phaseolus Lunatus L.) y cuantificación de su almidón resistente. *Tecno Lógicas*. 1 (30). 17-32.

Moorthy, S. (2002). Physicochemical and Functional Properties of Tropical Tuber Starches: A Review. *Starch/Stärke*, 54, 559-592.

Morales, R., Muño, M., Guadix, E., & Guadix, A. (2014). Production of resistant starch by enzymatic debranching in legume flours. *Carbohydrate Polymers*, 101, 1176–1183. doi: 10.1016/j.carbpol.2013.10.027

Mutlu, S., Kahraman, K., & Öztürk, S. (2016). Optimization of resistant starch formation from high amylose corn starch by microwave irradiation treatments and

characterization of starch preparations. *BIOMAC: Biological Macromolecules*, 2-18. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2016.11.097

Norma Técnica Peruana [NTP]. (2007). Papa deshidratada tuna: Requisitos y definiciones. Recuperado de <http://www.asocam.org/biblioteca/files/original/086d8d077f3eaa3bdc5c221b2918238d.pdf>

Nugent, A. (2005). Health properties of resistant starch. *Nutrition Bulletin*, 30, 27-54.

Oguz, M. (2013). Use of Experimental Box-Behnken Design for the Estimation of Interactions Between Harmonic Currents Produced by Single Phase Loads. *IJERA (International Journal of Engineering Research and Applications)*, 3 (2), 158-165.

Oladebeye, A., Oshodi, A., & Oladebeye, A. (2009). Physicochemical Properties of Starches of Sweet Potato (*Ipomea batata*) and Red Cocoyam (*Colocasia esculenta*) Cormels. *Pakistan Journal of Nutrition* 8 (4), 313–315.

Oropeza, A. (2008). Diagnóstico de la elaboración y transformación del chuño y sus connotaciones socioculturales y económicas (tesis de pregrado). Universidad Mayor de San Simón, Bolivia.

Osundahunsi, O., Fagbemi, T., Kesselman, E., & Shimoni, E. (2003). Comparison of the physicochemical properties and pasting characteristics of flour and starch from red and white sweet potato cultivars. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51, 2232-2236. doi: 10.1021/jf0260139

Parada, J., & Aguilera, J. (2012). Effect of native crystalline structure of isolated potato starch on gelatinization behavior and consequently on glycemic response. *Food Research International*, 45, 238-243.

Pardo, O., Castañeda, J., y Ortiz, C. (2013). Caracterización estructural y térmica de almidones provenientes de diferentes variedades de papa. *Acta Agronómica*, 62 (4), 289-295.

Peña, E. (2017). *Extracción y caracterización fisicoquímica y Funcional de almidones de cinco variedades de papas Nativas procedentes de ilave (puno)* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú.

Peñarrieta, J., Alvarado, J., Bravo, J., & Bergenstahl, B. (2015). Chuño and Tunta; the traditional andean sun-dried potatoes. *Nova science publishers, Inc*, 1-12.

Perera, A., Meda, V., & Tyler, R. (2010). Resistant starch: A review of analytical protocols for determining resistant starch and of factors affecting the resistant starch content of foods. *Food Research International*, 43, 1959–1974. doi: 10.1016/j.foodres.2010.06.003

Proyecto de Desarrollo Comunitario [PRODECO]. (2013). *El chuño y la tunta pueden disminuir el nivel de glucosa en la sangre*. Bolivia: Medicina Intercultural. Recuperado de <http://medicinaintercultural.org/noticias/2013-06-25-el-chu%C3%B1o-y-la-tunta-pueden-disminuir-el-nivel-de-glucosa-en-la-sangre>

Quintero, V., Aguirre, J., y Álzate, E. (2012). Determinación de las propiedades térmicas y composicionales de la harina y almidón de chachafruto. *INGENIUM*, 14 (28), 16-32.

Quiroga, C. (2008). Los almidones resistentes y la salud. *UPB*, 1(8), 131-142.

Quispe, N. (2009). *Desarrollo de un producto alimenticio por mezclas de harinas de chuño y trigo para el ayllu majasaya mujlli, provincia tapacari* (tesis de pregrado). Universidad Mayor de San Simón, Bolivia.

Ramesh, Y., & Rakesh, K. (2008). Functional properties of potato flour and its role in product development. *Food – Global Science Books*, 105-112.

Ramos, I. (2007). *Producción de tunta en la comunidad campesina de Jarani Periodo 2000-2007* (metodología de la investigación). Universidad Nacional del Altiplano, Perú.

Rea, J., & Vacher, J. (1992). La papa amarga. I mesa redonda: Perú - Bolivia, La Paz 7 – 8 mayo 1991. *ORSTOM*, 111.

Riveros, M. (2009). *Elaboración de chuño a partir de cuatro variedades de papa bajo diferentes tratamientos de aplicación de agua* (tesis de pregrado). Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia.

Robles, M. (2012). *Relación entre algunas propiedades fisicoquímicas y térmicas de gelatinización y retrogradación en almidón de papa nativa de Chiloé* (tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile, Chile.

Rodrigues, M. I., & Iemma, A. F. (2014). *Experimental Design and Process Optimization*. Recuperado de <https://www.crcpress.com/Experimental-Design-and-Process-Optimization/Rodrigues-Iemma/p/book/9781482299557>

Rodríguez, D. (2013). *Efecto de la concentración de almidones resistentes de la papa común (Solanum tuberosum) y criolla (Solanum phureja) sobre la digestibilidad de*

nutrientes, energía metabolizable e integridad del tracto gastrointestinal de pollos de engorde (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

Sajilata, M., Rekha, S., & Pushpa, R. (2006). Resistant starch. *CRFSFS: Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 5, 1-17.

Sanabria, T. (2013). *Chuño and tunta [which are processed potato] have interesting properties against diabetes and overweight*. Bolivian thoughts in an emerging world. Recuperado de <https://bolivianthoughts.com/2013/06/28/bolivian-chuno-and-tunta-processed-potato-have-interesting-properties/>

Singh, B., Singh, J., Kaur, L., & Singh, B. (2003). Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry*, 81, 219-231.

Singh, J; McCarthy, O; & Singh, H (2006). Phyco-chemical and morphological characteristics of New Zealand Taewa (Maori potato) starches. *Carbohydrate polymers*, 64, 569-581. doi: 10.1016/j.carbpol.2005.11.013

Sosa, Y., y Maquera, M. (2013). *Hidrólisis enzimática del almidón de chuño y tunta para la obtención de jarabe de glucosa* (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Perú.

Soto, R., y Yantas, P. (2012). *Evaluación de la calidad del almidón obtenido de tres variedades de papa (solanum tuberosum) cultivadas en la provincia de Jauja* (tesis de pregrado). Universidad del Centro del Perú, Perú.

Surco, F. (2004). *Caracterización de almidones aislados de tubérculos andinos: mashua (Tropaelom tuberosum), oca (Oxalis tuberosa), olluco (Ullucos tuberosus) para su aplicación tecnológica* (tesis de maestría). Universidad Nacional de San Marcos, Lima, Perú.

Swinkels, J. (1985). Composition and Properties of Commercial Native Starches. *Starch/stârch*, 37 (1), 1-5.

Tablas Peruanas de Composición de alimentos (2009), Ministerio de Salud, Instituto Nacional de Salud, Centro Nacional de Alimentación y Nutrición. Tubérculos, Raíces y Derivados, Lima, Perú: INS, 56.

Tako, M., Tamaki, Y., Teruya, T., & Takeda, Y. (2014). The Principles of Starch Gelatinization and Retrogradation. *Food and Nutrition Sciences*, 5, 280–291. doi: 10.4236/fns.2014.53035

Tester, R., Karkalas, J., & Qi, X. (2004). Starch-Composition, Fine Structure and Architecture. *Journal of Cereal Science*, 1 (39), 151-165. doi: 10.1016/j.jcs.2003.12.001

Tharanathan, R., & Mahadevamma, S. (2003). Grain legumes - a boon to human nutrition. *Trends in Food Science & Technology*, 14, 507-518. doi: 10.1016/j.tifs.2003.07.002

Tomas, B. (2008). *Caracterización morfológica y térmica del almidón de maíz (Zea mays L.) obtenido por diferentes métodos de aislamiento* (tesis de pregrado). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México.

Torruco, J., & Betancur, D. (2007). Physicochemical and functional properties of makal (*Xanthosoma yucatanensis*) starch. *Food Chemistry*, 101, 1319–1326.

Valcárcel, B., Rondán, G., & Finardi, F. (2013). The physical, chemical and functional characterization of starches from Andean tubers: Oca (*Oxalis tuberosa* Molina), olluco (*Ullucus tuberosus* Caldas) and mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón). *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 49 (3), 456-462.

Vargas, G. (2015). *Síntesis y caracterización de un almidón modificado de papa (solanum tuberosum), (Var. Única) para su aplicación en un helado Soft.* (tesis de pregrado) Universidad de Nacional Agraria La Molina, Perú.

Vargas, G., Martínez, P., & Velezmoro, C. (2016). Propiedades funcionales de almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y su modificación química por acetilación. *Scientia Agropecuaria*, 7 (3), 223–230. doi: 10.17268/sci.agropecu.2016.03.09

Vargas, P. (2016). Flours and starches made from cassava (yuca), yam, sweet potatoes and ñame: functional properties and possible applications in the food industry. *Tecnología en Marcha*, 26 (506), 86–94.

Velásquez, F., Bello, L., Yee, H., & Velezmoro, C. (2018). Esterification and Characterization of Starch from Andean Tubers. *Research Article*, 9-14 doi: 10.1002/star.201800101.

Velasquez, J., Aguirre, J., & Quintero, V. (2017). Physical-chemical characteristics determination of potato (*Solanum phureja* Juz & Bukasov) starch. *Agroindustry and Food Science*, 66, 323–330. doi: 10.15446/acagv66n3.52419

Villagra, A. (2010). *Almidón retrogrado en el tratamiento dietotarapico de la Diabetes Mellitus tipo 2* (tesis de pregrado) Universidad ISALUD, Argentina.

Wang, J., Tang, X., Chen, P., & Huang, H. (2014). Changes in resistant starch from two banana cultivars during postharvest storage. *Food Chemistry*, 156, 319–325. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.02.012

Zambrano, J., y Quintero, M. (2011). *Proceso de obtención de una harina de cidra papa (Sechium edule) y su caracterización físico-química* (tesis de pregrado). Universidad del Valle, Santiago de Cali, Colombia.

Zihua, A., Quezada-Calvillo, R., Sim, L., Buford, L., Rose, D., Sterchi, E., & Hamaker, B. (2007). Evidence of native starch degradation with human small intestinal maltase-glucoamylase (recombinant). *Federation of European Biochemical Societies*, 581, 2381-2388. doi: 10.1016/j.febslet.2007.04.035.

Zorn, E., & Sue, L. (2004). Freeze-dried but Always Peeled: Anthropological Approaches to Food Processing, Preparation, and Consumption of the Andean Potato. 1-7.

ANEXOS

Anexo 1. Análisis proximal de la Harina de la Tunta y Chuño



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE ZOOTECNIA - DEPARTAMENTO ACADEMICO DE NUTRICION
LABORATORIO DE EVALUACION NUTRICIONAL DE ALIMENTOS

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

INFORME DE ENSAYO LENA N° 0813/2018

CLIENTE : ROSMERY MAMANI RODRÍGUEZ
NOMBRE DEL PRODUCTO : 02 MUESTRAS
(Denominación responsabilidad del cliente)
MUESTRA : PROPORCIONADA POR EL CLIENTE
FECHA DE RECEPCIÓN : 16-08-2018
FECHA DE ANÁLISIS : Del 16/08/18 al 22/08/18
CANTIDAD DE MUESTRA : Indicado en tabla
PRESENTACION : Muestras en bolsa plástica hermética
IDENTIFICACION : AQ18-0813/01-02

RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICO

CÓDIGO	AQ18-0813/01	AQ18-0813/02
MUESTRA	CHUÑO	TUNTA
Peso (g)	191	195
a.- HUMEDAD, %	15.2	16.85
b.- PROTEINA TOTAL (N x 6.25), %	3.54	2.83
c.- GRASA, %	0.04	0.22
d.- FIBRA CRUDA, %	1	1.59
e.- CENIZA, %	1.97	0.63
f.- ELN ¹ , %	78.25	77.88

ELN¹ = EXTRACTO LIBRE DE NITRÓGENO

Métodos utilizados:

- a.- AOAC (2005), 950.46
- b.- AOAC (2005), 984.13
- c.- AOAC (2005), 2003.05
- d.- AOAC (2005), 962.09
- e.- AOAC (2005), 942.05

La Molina, 22 de Agosto del 2018


Ing. Gloria Palacios Pinto
Jefe del Laboratorio de Evaluación
Nutricional de Alimentos

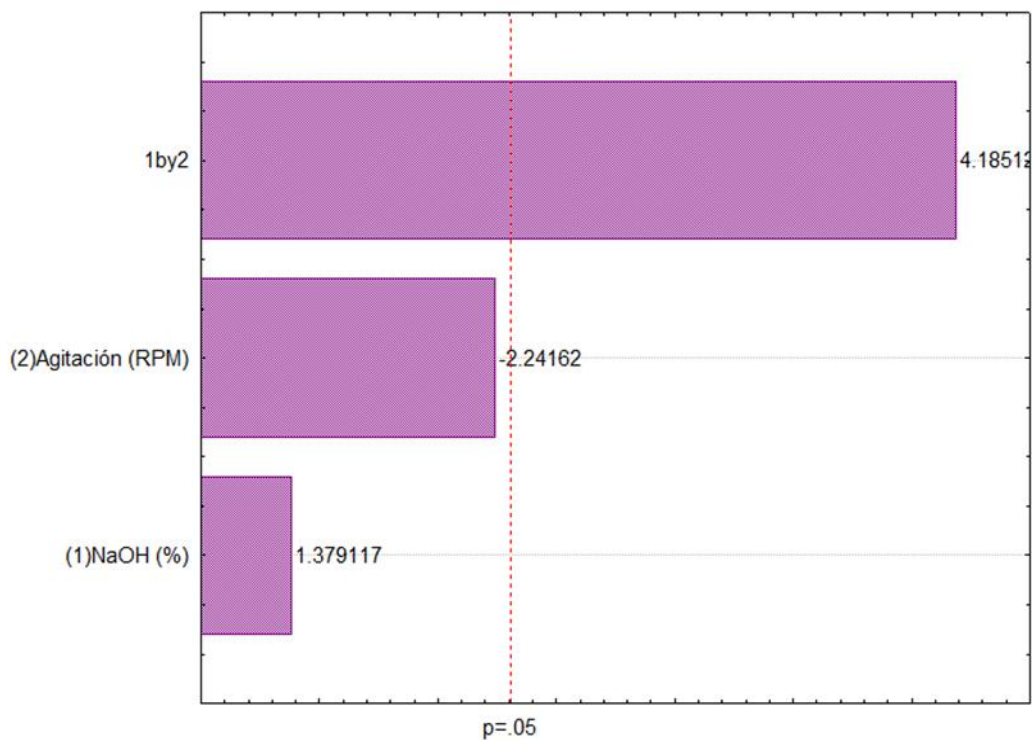


RENDIMIENTO DE ALMIDÓN TOTAL DE TUNTA Y CHUÑO

Anexo 2. Rendimiento del almidón total de la tunta y chuño

Ensayos	Codificados		No codificados		Rendimiento de AT de tunta (%)		Rendimiento de AT de Chuño (%)	
	X ₁	X ₂	NaOH (%)	Agitación (RPM)	R 1	R2	R 1	R 2
1	-1	-1	0.20	2500	68.90	70.32	51.97	47.44
2	1	-1	0.25	2500	54.63	52.87	44.78	44.99
3	-1	1	0.20	4500	19.20	47.37	54.41	54.96
4	1	1	0.25	4500	68.99	60.48	75.09	71.47
5	0	0	0.225	3500	60.32	56.10	57.18	55.03
6	0	0	0.225	3500	58.47	63.36	51.20	51.30

Anexo 3. Diagrama de Pareto estandarizado para el rendimiento (%) del almidón total de la tunta (ATT)

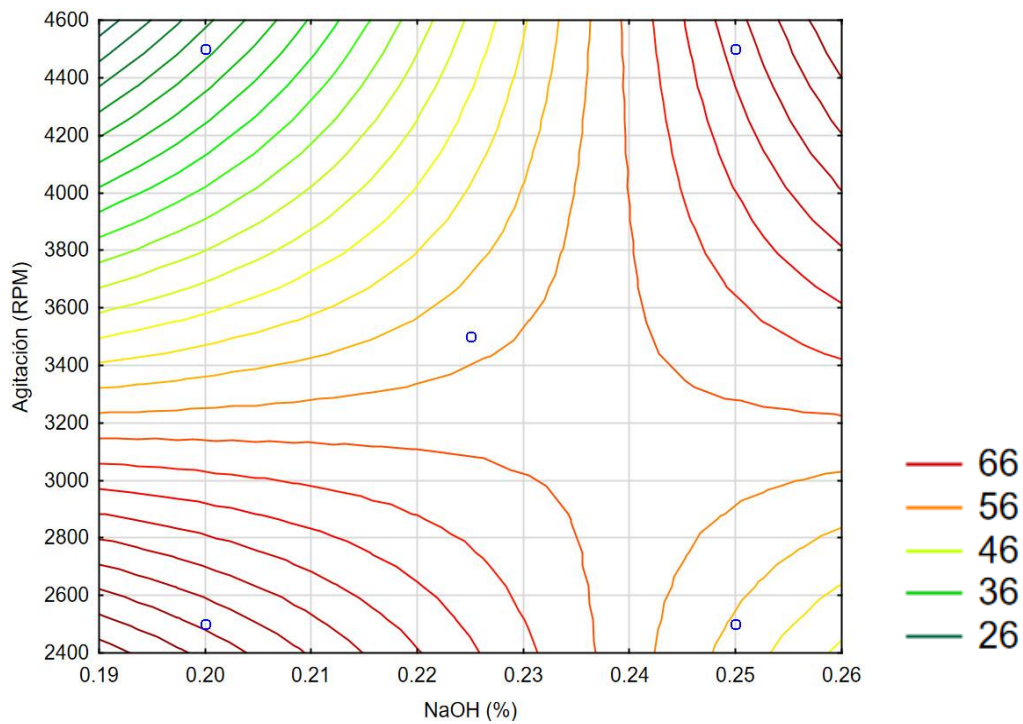


Anexo 4. Coeficiente de Regresión del rendimiento del AT de la tunta

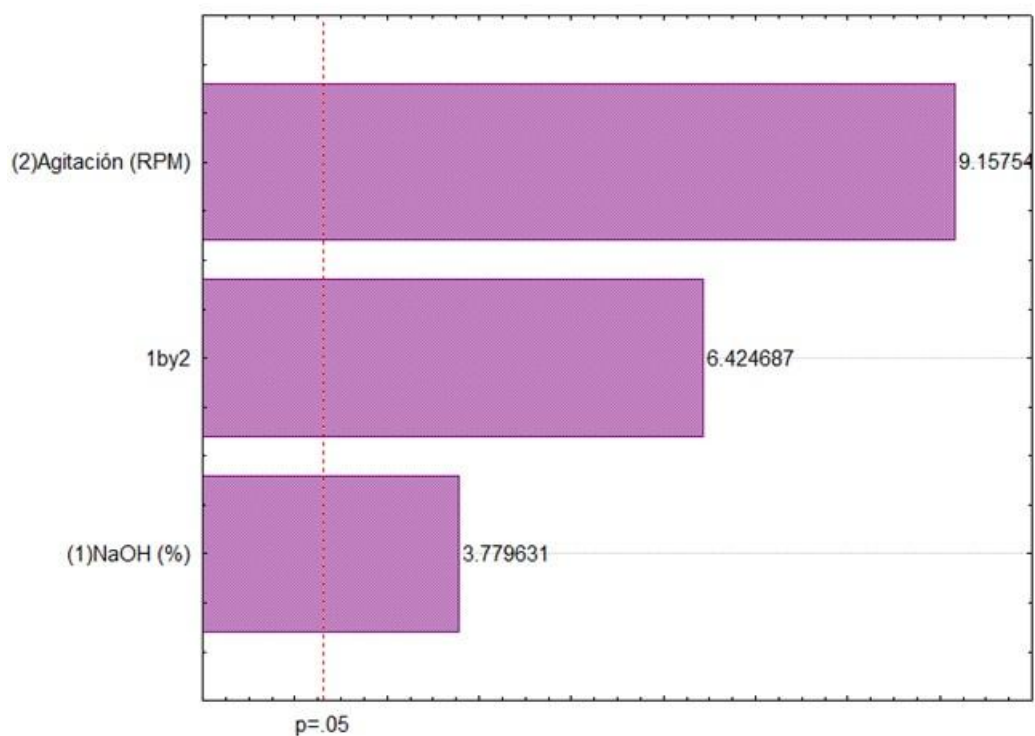
$R^2=0.75341$; $R_{ajustado}=0.66093$

Factor	Coefficiente Regresión	Error Estándar	t (8)	p
Media/Interc.	416.41	93.14	4.47	0.00
(1) NaOH (%)	-1499.95	411.48	-3.64	0.01
(2) Agitación (RPM)	-0.11	0.03	-4.41	0.00
1 y 2	0.47	0.11	4.19	0.00

Anexo 5. Diagrama de Contorno para el rendimiento (%) del almidón total de la tunta



Anexo 6. Diagrama de Pareto estandarizado para el rendimiento (%) del almidón total del chuño (ATC)

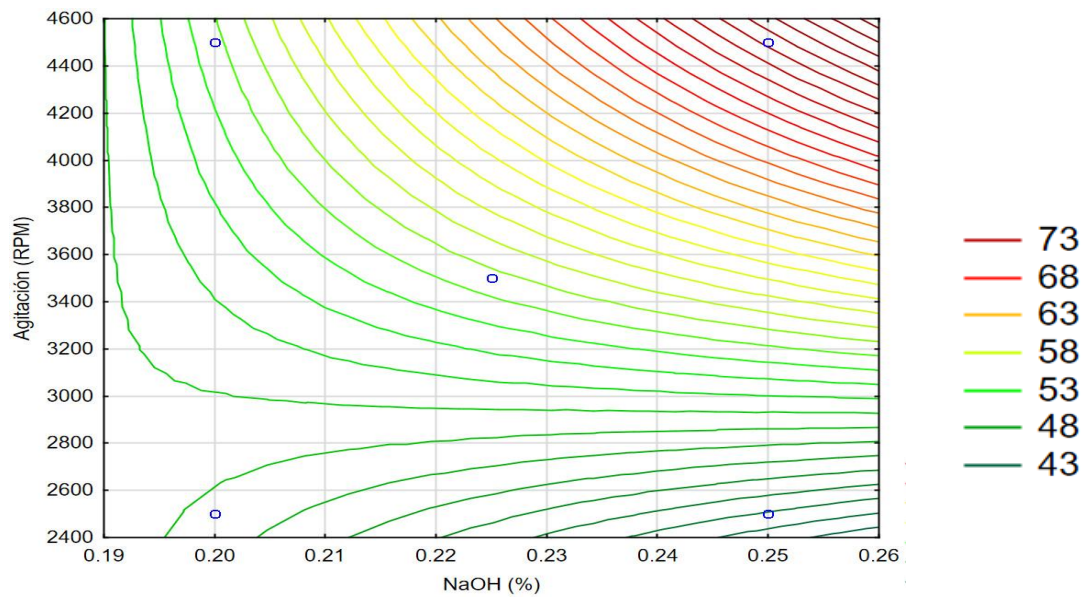


Anexo 7. Coeficiente de Regresión del rendimiento del AT del chuño

$R^2=0.94573$; $R_{ajustado}=0.92538$

Factor	Coefficiente Regresión	Error Estándar	t (8)	p
Media/Interc.	179.18	30.03	5.97	0.000
(1) NaOH (%)	-681.78	132.66	-5.14	0.001
(2) Agitación (RPM)	-0.04	0.01	-5.37	0.001
1 y 2	0.23	0.04	6.43	0.000

Anexo 8. Diagrama de Contorno para el rendimiento (%) del almidón total del chuño



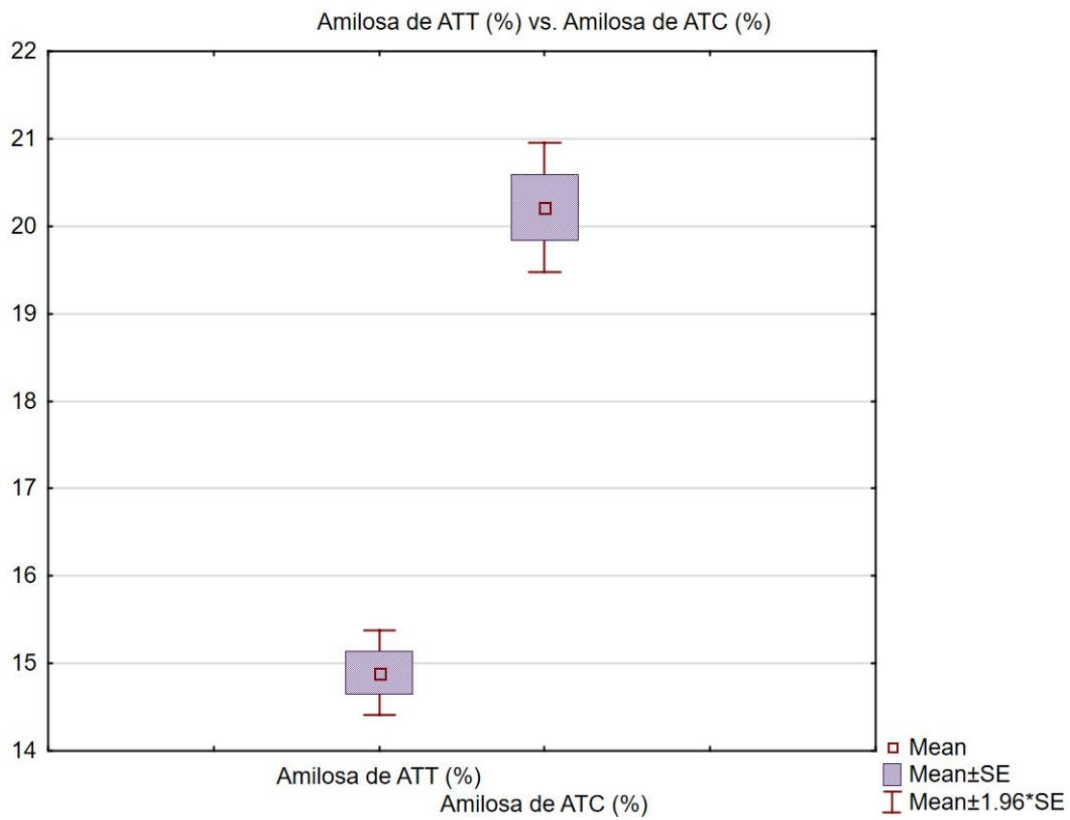
Anexo 9. Datos de las Propiedades Físico-químicas del AT de la tunta y chuño

Propiedades fisicoquímicas	R1	R2	R3
Amilosa ATT (%)	15.01	14.42	15.25
Amilosa ATC (%)	20.43	20.73	19.48
Amilopectina ATT (%)	84.99	85.58	84.75
Amilopectina ATC (%)	79.57	79.27	80.52
Absorción de Agua ATT (%)	8.10	6.29	6.95
Absorción de Agua ATC (%)	9.51	7.10	7.38
Solubilidad ATT (%)	1.96	1.63	0.33
Solubilidad ATC (%)	2.96	3.26	0.66
Poder de hinchamiento ATT (%)	8.26	6.40	6.97
Poder de hinchamiento ATC (%)	9.80	7.34	7.43
Claridad de geles ATT (%)	20.00	22.50	21.30
Claridad de geles ATC (%)	17.90	16.80	17.70
Luminosidad (L*) ATT	76.54	76.43	76.62
Luminosidad (L*) ATC	67.30	67.68	67.00
Coordenada a* ATT	0.61	0.66	0.75
Coordenada a* ATC	2.44	2.53	2.70
Coordenada b* ATT	3.36	3.33	3.35
Coordenada b* ATC	7.12	6.88	7.10

Anexo 10. T-test de variables independientes (Contenido de Amilosa en la tunta y chuño)

Grupo 1 vs. Grupo 2	Promedio Grupo 1	Promedio Grupo 2	T- valor	df	p-valor
Amilosa de ATT (%) vs. Amilosa de ATC (%)	14.893	20.210	-11.787	4	0.0003

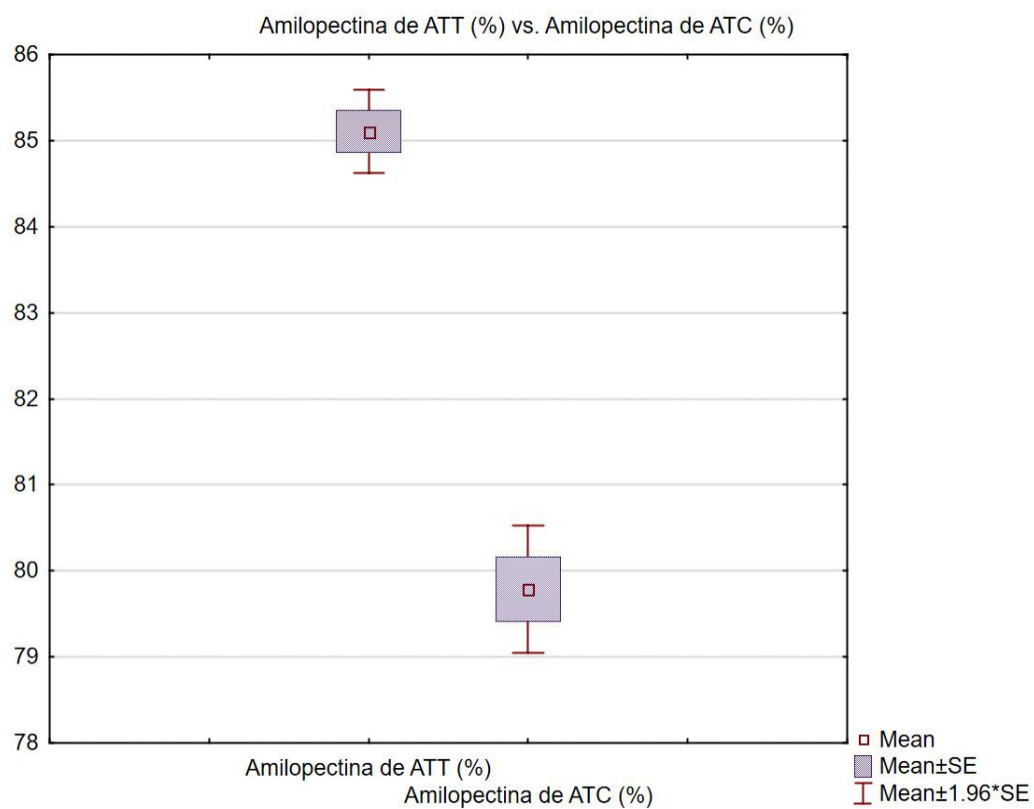
Anexo 11. Diagrama de caja comparativo del contenido de amilosa en el almidón total de la tunta (ATT) y chuño (ATC)



Anexo 12. T-test de variables independientes (Contenido de Amilopectina en la tunta y chuño)

Grupo 1 vs. Grupo 2	Promedio Grupo 1	Promedio Grupo 2	T- valor	df	p-valor
Amilopectina de ATT (%) vs. Amilopectina de ATC (%)	85.107	79.789	11.787	4	0.0003

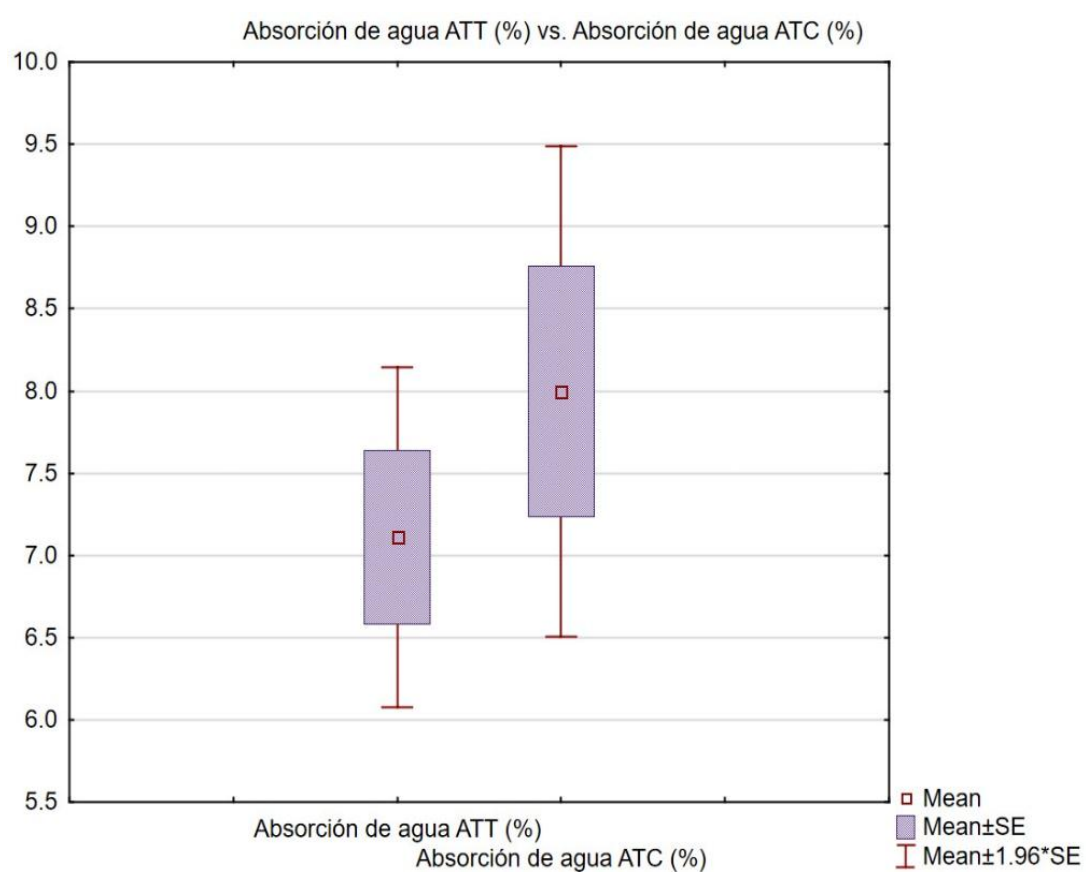
Anexo 13. Diagrama de caja comparativo del contenido de amilopectina en el almidón total de la tunta (ATT) y chuño (ATC)



Anexo 14. T-test de variables independientes (Absorción de agua de la tunta y chuño)

Grupo 1 vs. Grupo 2	Promedio Grupo 1	Promedio Grupo 2	T- valor	df	p-valor
Absorción de agua ATT (%) vs. Absorción de agua ATC (%)	7.111	7.998	-0.957	4	0.393

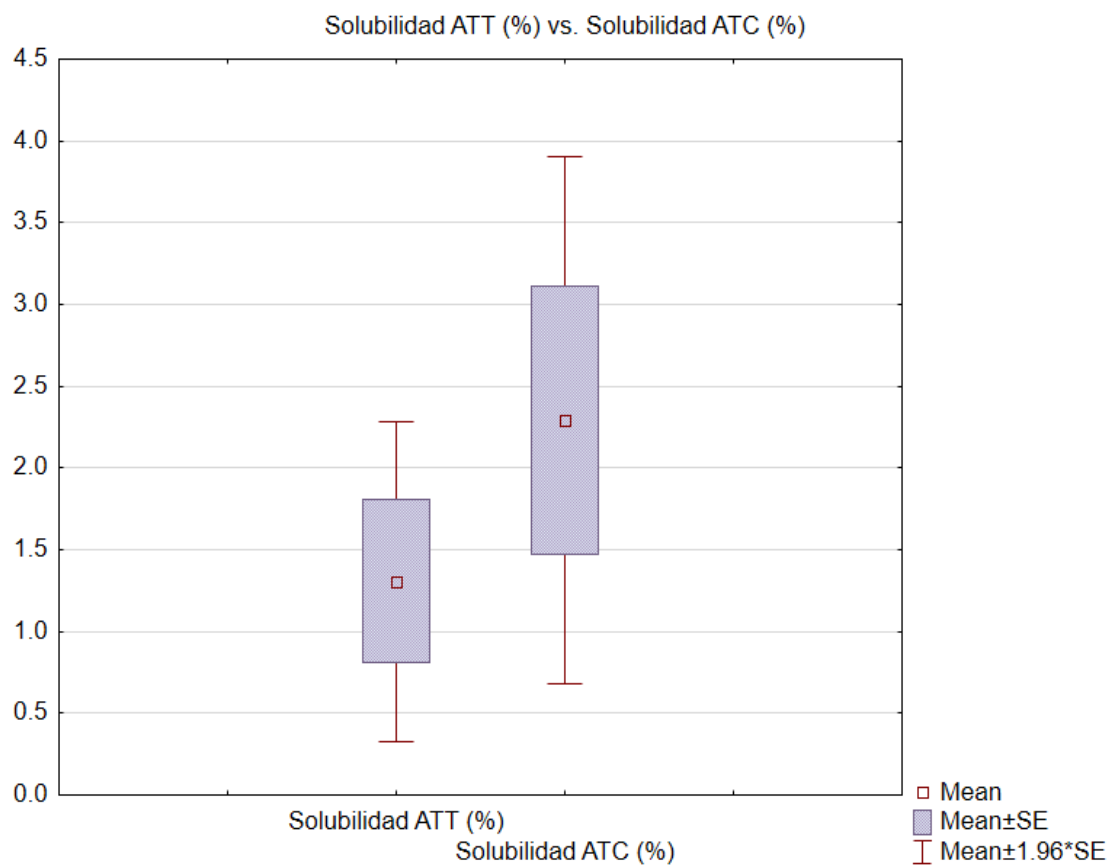
Anexo 15. Diagrama de caja comparativo del Índice de Absorción en el almidón total de la tunta (ATT) y chuño (ATC)



Anexo 16. T-test de variables independientes (Solubilidad en agua de la tunta y chuño)

Grupo 1 vs. Grupo 2	Promedio Grupo 1	Promedio Grupo 2	T- valor	df	p-valor
Solubilidad ATT (%) vs. Solubilidad ATC (%)	1.308	2.293	-1.025	4	0.363

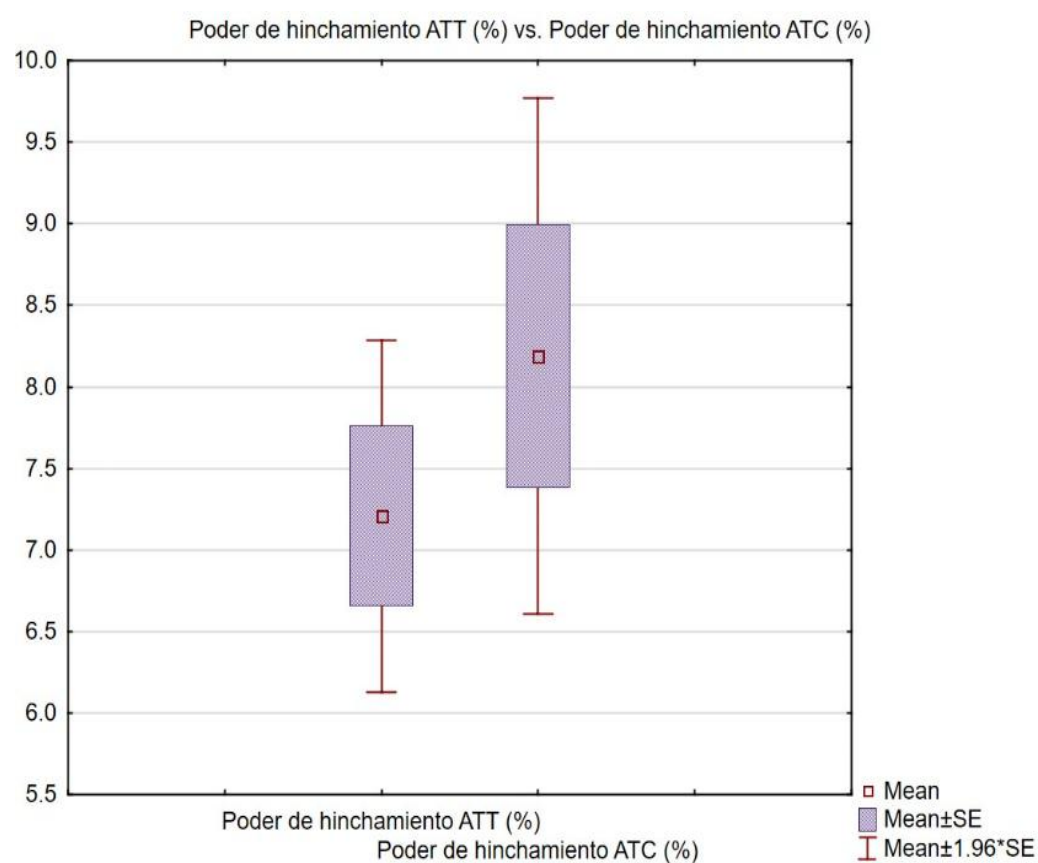
Anexo 17. Diagrama de caja comparativo del Índice de Solubilidad en agua del almidón total de la tunta (ATT) y chuño (ATC)



Anexo 18. T-test de variables independientes (Poder de Hinchamiento de la tunta y chuño)

Grupo 1 vs. Grupo 2	Promedio Grupo 1	Promedio Grupo 2	T- valor	df	p-valor
Poder de hinchamiento ATT (%) vs. Poder de hinchamiento ATC (%)	7.207	8.191	-1.007	4	0.371

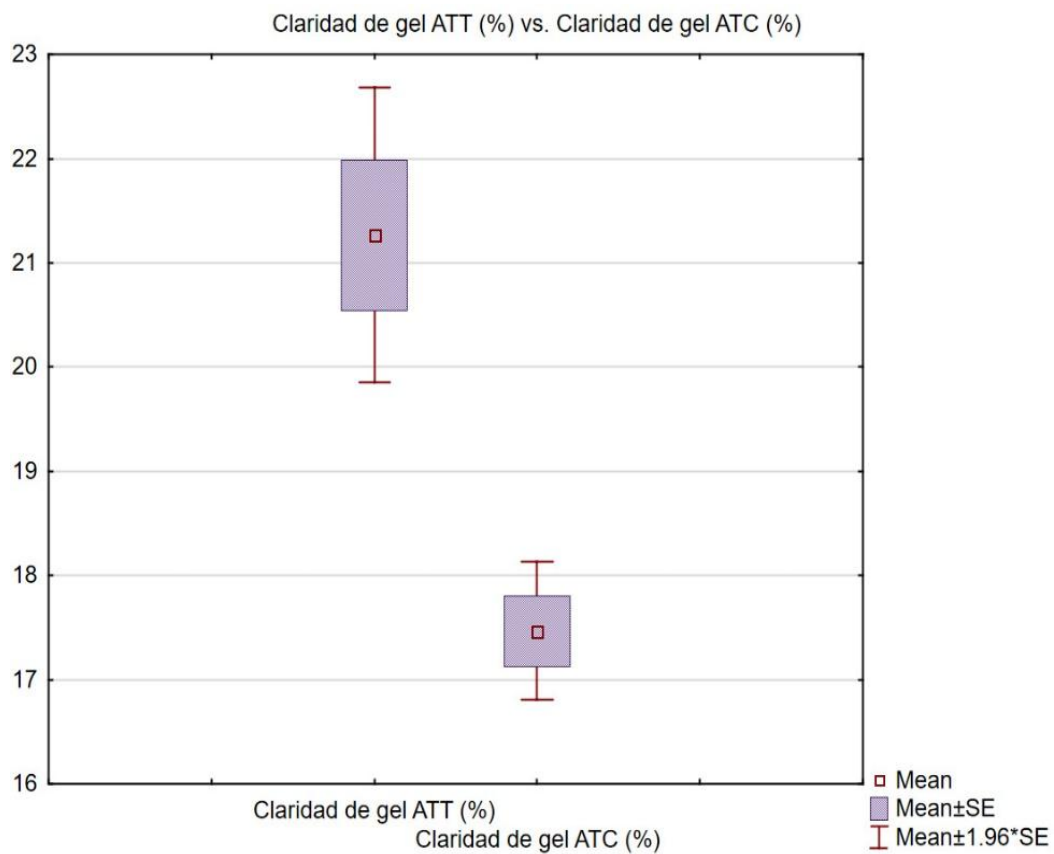
Anexo 19. Diagrama de caja comparativo del Poder de Hinchamiento del almidón total de la tunta (ATT) y chuño (ATC)



Anexo 20. T-test de variables independientes (Claridad de geles de la tunta y chuño)

Grupo 1 vs. Grupo 2	Promedio Grupo 1	Promedio Grupo 2	T- valor	df	p-valor
Claridad de gel ATT (%) vs. Claridad de gel ATC (%)	21.267	17.467	4.767	4	0.009

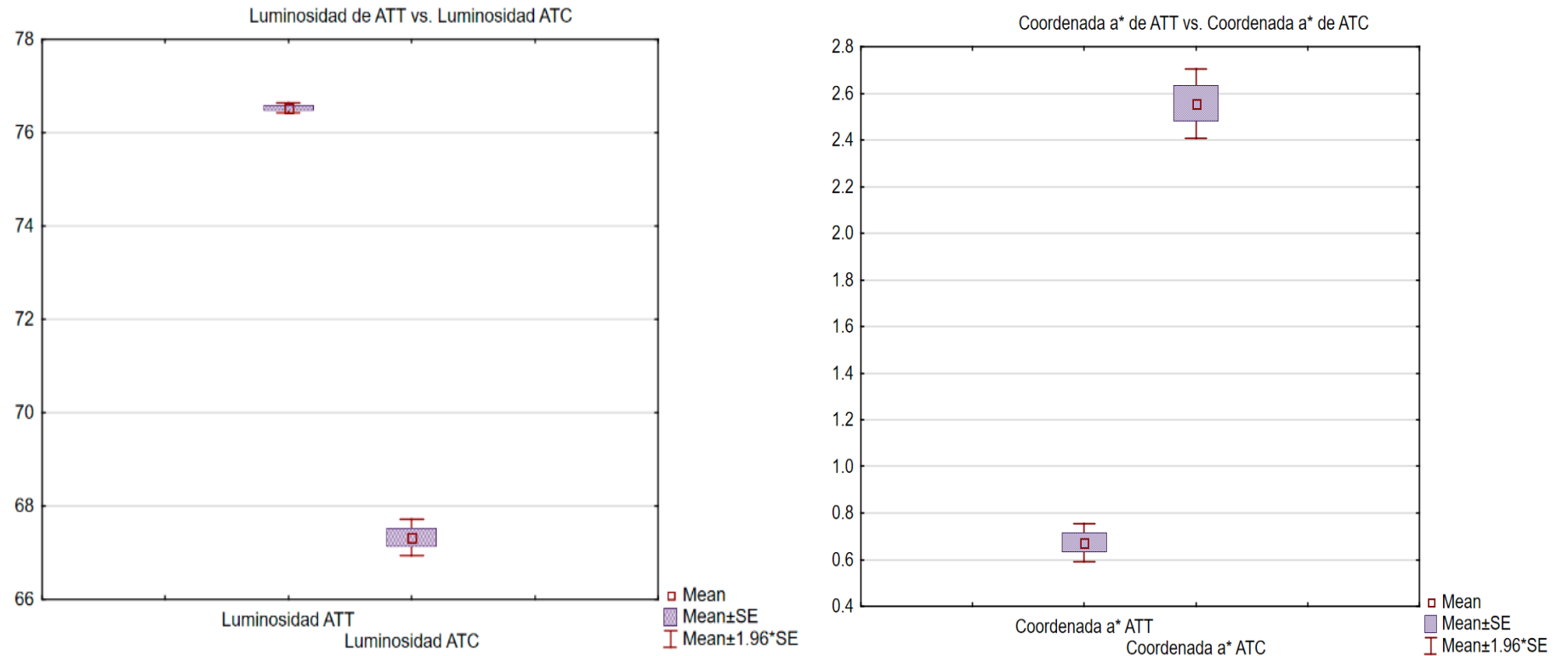
Anexo 21. Diagrama de caja comparativo de Claridad de geles del almidón total de la tunta (ATT) y chuño (ATC)



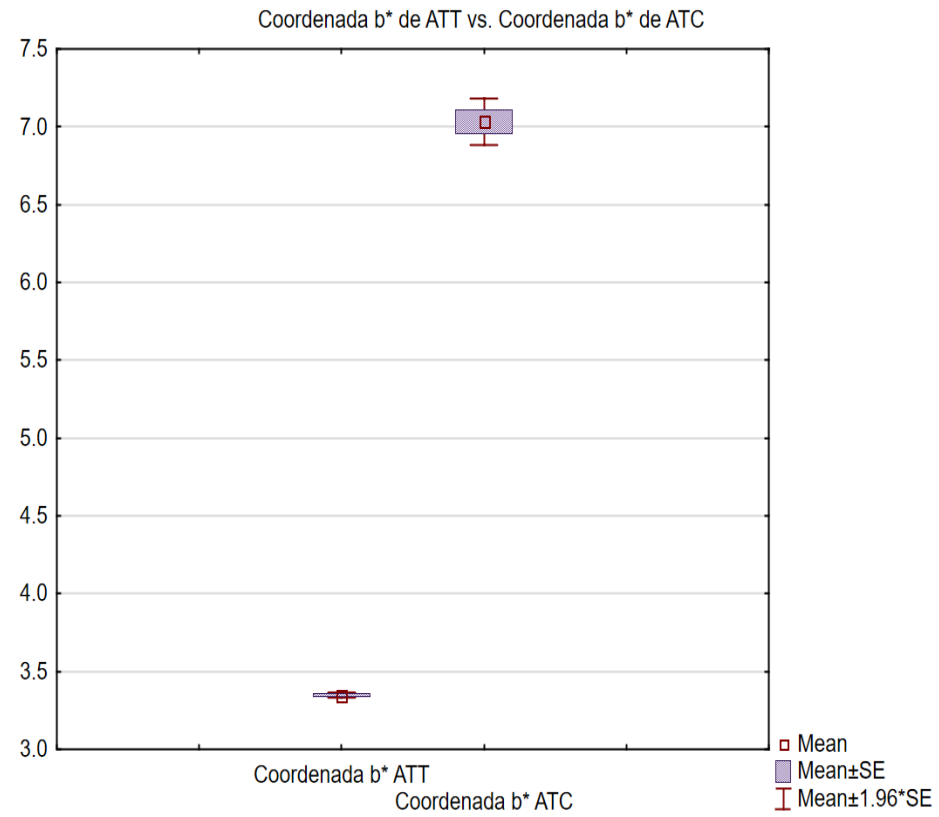
Anexo 22. T-test de variables independientes (Colorimetría (L*, a* y b*) de la tunta y chuño)

Grupo 1 vs. Grupo 2	Promedio Grupo 1	Promedio Grupo 2	T- valor	df	p-valor
Luminosidad de ATT vs. Luminosidad de ATC	76.530	67.327	45.044	4	0.000001
Coordenada a* de ATT vs. Coordenada a* de ATC	0.673	2.557	-21.763	4	0.00003
Coordenada b* de ATT vs. Coordenada b* de ATC	3.347	7.033	-47.639	4	0.000001

Anexo 23. Diagrama de caja comparativo de Colorimetría (Luminosidad, coordenadas a* y b*) del almidón total de la tunta (ATT) y chuño (ATC)



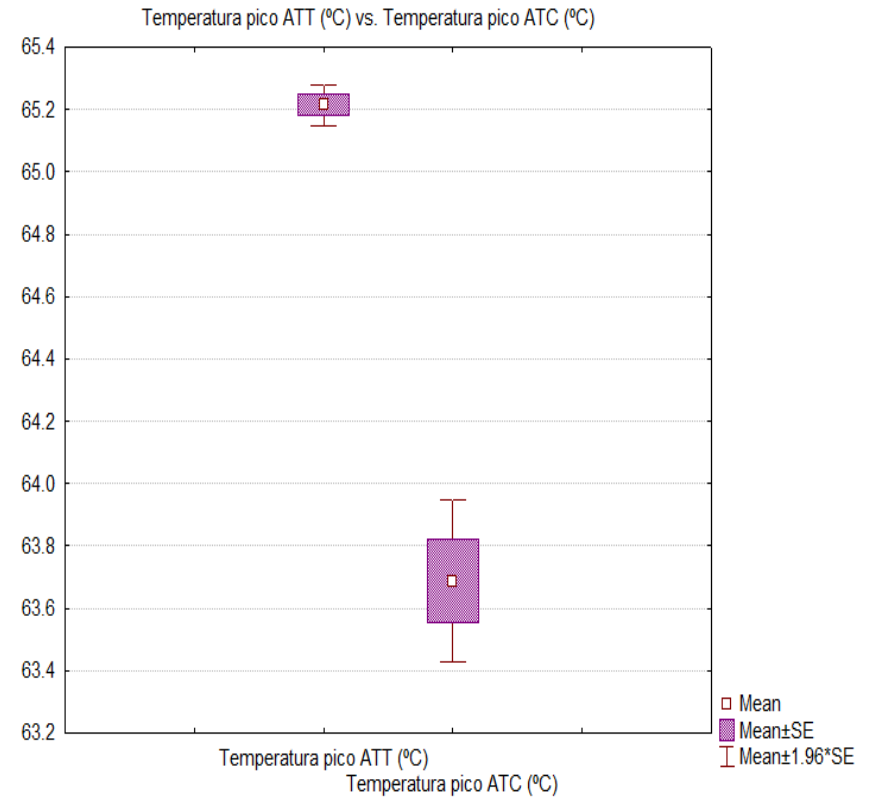
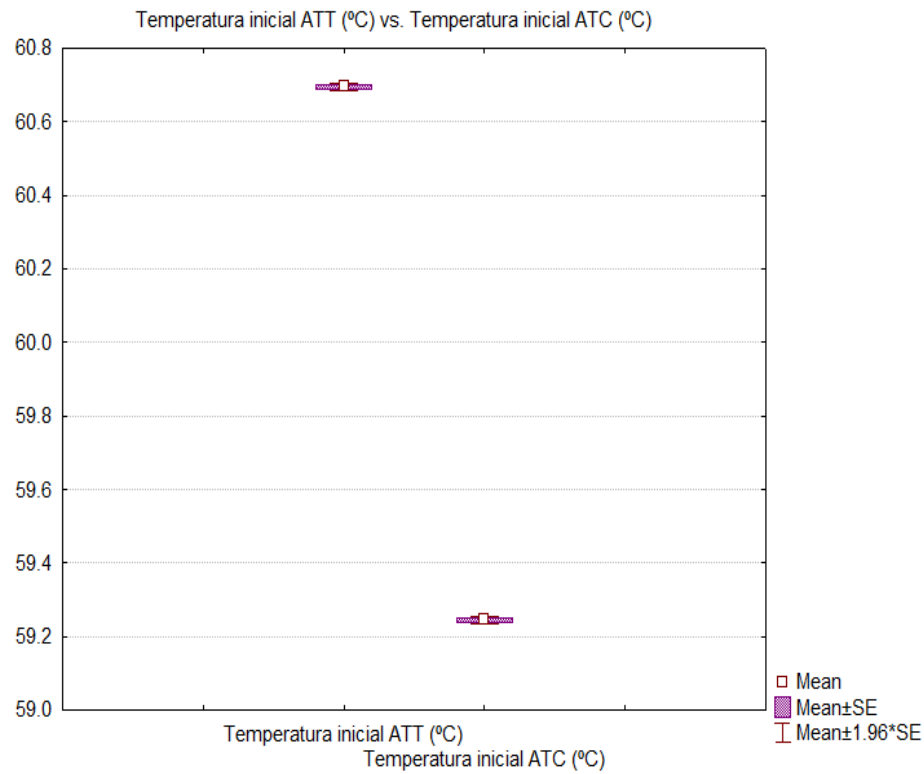
Anexo 23. Diagrama de caja comparativo de Colorimetría (Luminosidad, coordenadas a* y b*) del almidón total de la tunta (ATT) y chuño (ATC) (continuación)



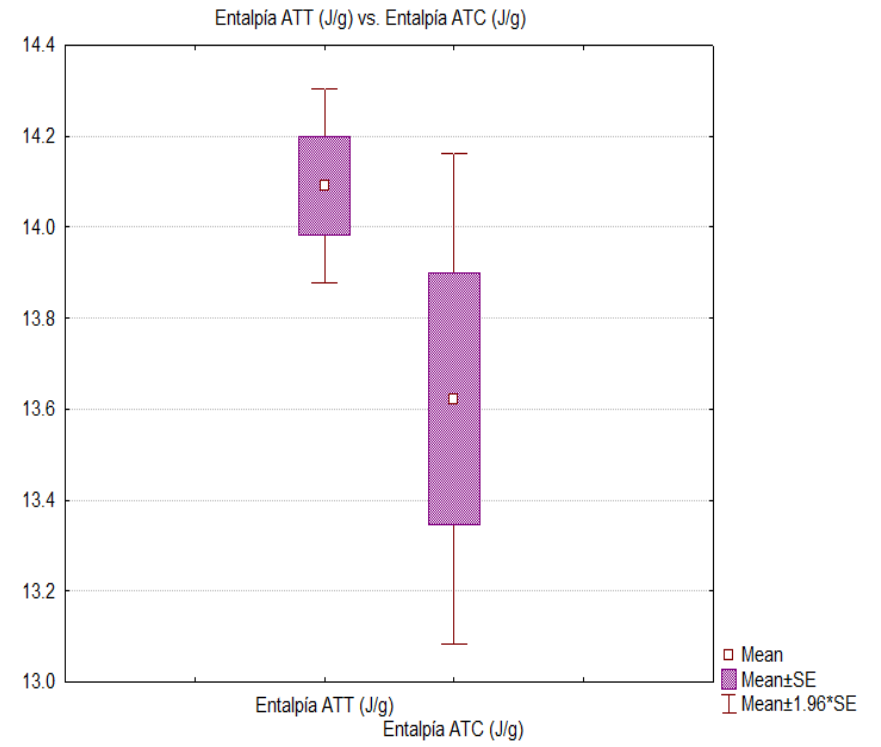
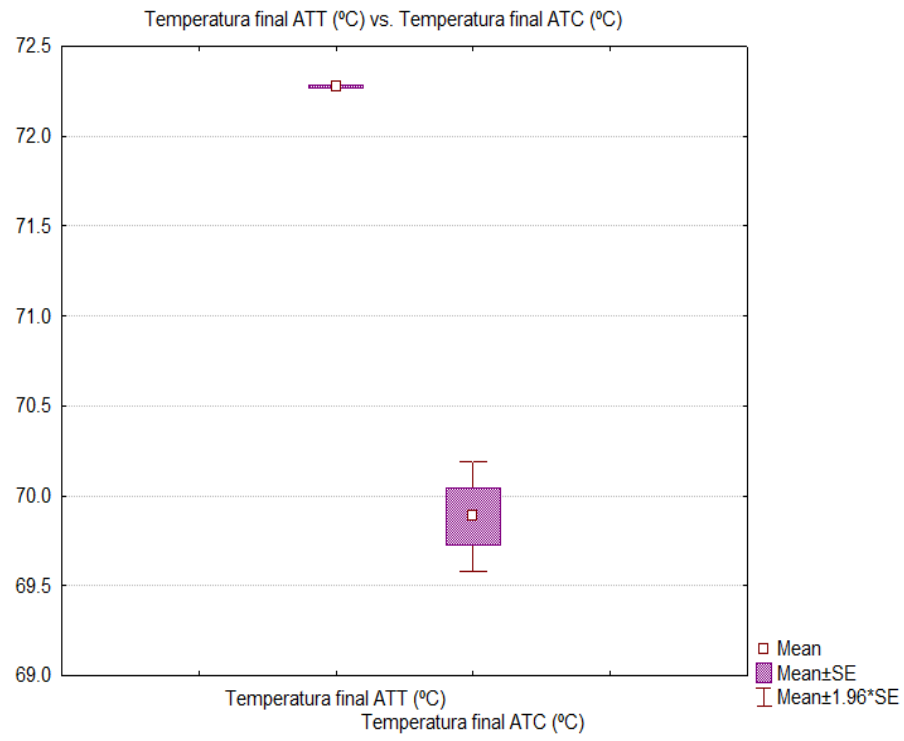
Anexo 24. T-test de variables independientes (Gelatinización de la tunta y chuño)

Grupo 1 vs. Grupo 2	Promedio Grupo 1	Promedio Grupo 2	T- valor	df	p-valor
Temperatura inicial ATT vs. Temperatura inicial ATC	60.70	59.25	205.06	2	0.000024
Temperatura pico ATT vs. Temperatura pico ATC	65.21	63.69	11.11	2	0.008
Temperatura final ATT vs. Temperatura final ATC	72.28	69.89	15.41	2	0.004
Entalpía ATT vs. Entalpía ATC	14.09	13.62	1.58	2	0.25

Anexo 25. Diagrama de caja comparativo de gelatinización del almidón total de la tunta (ATT) y chuño (ATC)



Anexo 25. Diagrama de caja comparativo de gelatinización del almidón total de la tunta (ATT) y chuño (ATC) (continuación)



RENDIMIENTO DE ALMIDÓN RESISTENTE DEL ALMIDON DE TUNTA Y CHUÑO

Anexo 26. Datos generados para obtener el rendimiento del Almidón Resistente de la tunta

Ensayos	Replicas	Lecturas de Absorbancias	Regresión	Absorbancia Muestra	Absorbancia de la Glucosa	ug de glucosa / ml	Volumen, ul	Factor de conversión	Peso de muestra, ug	%AR tunta
1	1	0.020	0.018*X+0.0397	0.040	0.059	0.679	17000	0.9	56000	37.11
	2	0.016	0.018*X+0.0397	0.040	0.059	0.678	17000	0.9	56000	37.04
	3	0.022	0.016*X+0.044	0.044	0.059	0.752	17000	0.9	56000	41.08
	4	0.010	0.016*X+0.044	0.044	0.059	0.749	17000	0.9	56000	40.90
2	1	0.010	0.009*X+0.0293	0.029	0.059	0.498	17000	0.9	56000	27.22
	2	0.008	0.009*X+0.0293	0.029	0.059	0.498	17000	0.9	56000	27.21
	3	0.011	0.016*X+0.0273	0.027	0.059	0.466	17000	0.9	56000	25.45
	4	0.021	0.016*X+0.0273	0.028	0.059	0.468	17000	0.9	56000	25.60
3	1	0.014	0.0145*X+0.0388	0.039	0.059	0.661	17000	0.9	56000	36.13
	2	0.015	0.0145*X+0.0388	0.039	0.059	0.661	17000	0.9	56000	36.14
	3	0.005	0.013*X+0.0443	0.044	0.059	0.752	17000	0.9	56000	41.09
	4	0.021	0.013*X+0.0443	0.045	0.059	0.756	17000	0.9	56000	41.29
4	1	0.003	0.0035*X+0.0488	0.049	0.059	0.827	17000	0.9	56000	45.21
	2	0.004	0.0035*X+0.0488	0.049	0.059	0.827	17000	0.9	56000	45.22
	3	0.019	0.013*X+0.047	0.047	0.059	0.801	17000	0.9	56000	43.76
	4	0.007	0.013*X+0.047	0.047	0.059	0.798	17000	0.9	56000	43.62
5	1	0.018	0.013*X+0.0247	0.025	0.059	0.423	17000	0.9	56000	23.10
	2	0.008	0.013*X+0.0247	0.025	0.059	0.420	17000	0.9	56000	22.98
	3	0.005	0.0115*X+0.0398	0.040	0.059	0.676	17000	0.9	56000	36.92
	4	0.018	0.0115*X+0.0398	0.040	0.059	0.678	17000	0.9	56000	37.06

Anexo 26. Datos generados para obtener el rendimiento del Almidón Resistente de la tunta (continuación)

Ensayos	Replicas	Lecturas de Absorbancias	Regresión	Absorbancia Muestra	Absorbancia de la Glucosa	ug de glucosa / ml	Volumen, ul	Factor de conversión	Peso de muestra, ug	%AR tunta
6	1	0.01	$0.0095 \cdot X + 0.0512$	0.051	0.059	0.870	17000	0.9	56000	47.51
	2	0.009	$0.0095 \cdot X + 0.0512$	0.051	0.059	0.869	17000	0.9	56000	47.50
	3	0.009	$0.0065 \cdot X + 0.0528$	0.053	0.059	0.896	17000	0.9	56000	48.96
	4	0.004	$0.0065 \cdot X + 0.0528$	0.053	0.059	0.895	17000	0.9	56000	48.93
7	1	0.01	$0.0095 \cdot X + 0.0278$	0.028	0.059	0.473	17000	0.9	56000	25.83
	2	0.01	$0.0095 \cdot X + 0.0278$	0.028	0.059	0.473	17000	0.9	56000	25.84
	3	0.02	$0.019 \cdot X + 0.0297$	0.030	0.059	0.508	17000	0.9	56000	27.77
	4	0.02	$0.019 \cdot X + 0.0297$	0.030	0.059	0.511	17000	0.9	56000	27.92
8	1	0.01	$0.0055 \cdot X + 0.0268$	0.027	0.059	0.455	17000	0.9	56000	24.85
	2	0.01	$0.0055 \cdot X + 0.0268$	0.027	0.059	0.455	17000	0.9	56000	24.85
	3	0.01	$0.018 \cdot X + 0.0253$	0.025	0.059	0.432	17000	0.9	56000	23.60
	4	0.03	$0.018 \cdot X + 0.0253$	0.026	0.059	0.437	17000	0.9	56000	23.87
9	1	0.03	$0.0415 \cdot X + 0.0328$	0.034	0.059	0.579	17000	0.9	56000	31.61
	2	0.05	$0.0415 \cdot X + 0.0328$	0.035	0.059	0.592	17000	0.9	56000	32.34
	3	0.034	$0.022 \cdot X + 0.031$	0.032	0.059	0.538	17000	0.9	56000	29.41
	4	0.01	$0.022 \cdot X + 0.031$	0.031	0.059	0.529	17000	0.9	56000	28.92

Anexo 27. Datos generados para obtener el rendimiento del Almidón Resistente del chuño

Ensayos	Replicas	Lecturas de Absorbancias	Regresión	Absorbancia Muestra	Absorbancia de la Glucosa	ug de glucosa / ml	Volumen, ul	Factor de conversión	Peso de muestra, ug	%AR tunta
1	1	0.010	$0,014x + 0,0737$	0.074	0.059	1.252	15000	0.9	56000	60.35
	2	0.018	$0,014x + 0,0737$	0.074	0.059	1.254	15000	0.9	56000	60.44
	3	0.039	$0,026x + 0,0693$	0.070	0.059	1.192	15000	0.9	56000	57.47
	4	0.013	$0,026x + 0,0693$	0.070	0.059	1.180	15000	0.9	56000	56.92
2	1	0.019	$0,016x + 0,059$	0.059	0.059	1.005	15000	0.9	56000	48.47
	2	0.013	$0,016x + 0,059$	0.059	0.059	1.004	15000	0.9	56000	48.39
	3	0.003	$0,0025x + 0,0532$	0.053	0.059	0.902	15000	0.9	56000	43.49
	4	0.002	$0,0025x + 0,0532$	0.053	0.059	0.902	15000	0.9	56000	43.48
3	1	0.009	$0,011x + 0,0263$	0.026	0.059	0.448	15000	0.9	56000	21.58
	2	0.013	$0,011x + 0,0263$	0.026	0.059	0.448	15000	0.9	56000	21.61
	3	0.006	$0,014x + 0,0303$	0.030	0.059	0.515	15000	0.9	56000	24.83
	4	0.022	$0,014x + 0,0303$	0.031	0.059	0.519	15000	0.9	56000	25.02
4	1	0.037	$0,0305x + 0,0532$	0.054	0.059	0.921	15000	0.9	56000	44.40
	2	0.024	$0,0305x + 0,0532$	0.054	0.059	0.914	15000	0.9	56000	44.08
	3	0.041	$0,0315x + 0,0552$	0.056	0.059	0.958	15000	0.9	56000	46.17
	4	0.022	$0,0315x + 0,0552$	0.056	0.059	0.947	15000	0.9	56000	45.68
5	1	0.002	$0,0035x + 0,0475$	0.048	0.059	0.805	15000	0.9	56000	38.83
	2	0.005	$0,0035x + 0,0475$	0.048	0.059	0.805	15000	0.9	56000	38.84
	3	0.010	$0,0115x + 0,0505$	0.051	0.059	0.858	15000	0.9	56000	41.37
	4	0.013	$0,0115x + 0,0505$	0.051	0.059	0.859	15000	0.9	56000	41.40
6	1	0.049	$0,0285x + 0,0288$	0.030	0.059	0.512	15000	0.9	56000	24.68
	2	0.008	$0,0285x + 0,0288$	0.029	0.059	0.492	15000	0.9	56000	23.72
	3	0.030	$0,0325x + 0,0362$	0.037	0.059	0.630	15000	0.9	56000	30.38
	4	0.035	$0,0325x + 0,0362$	0.037	0.059	0.633	15000	0.9	56000	30.52

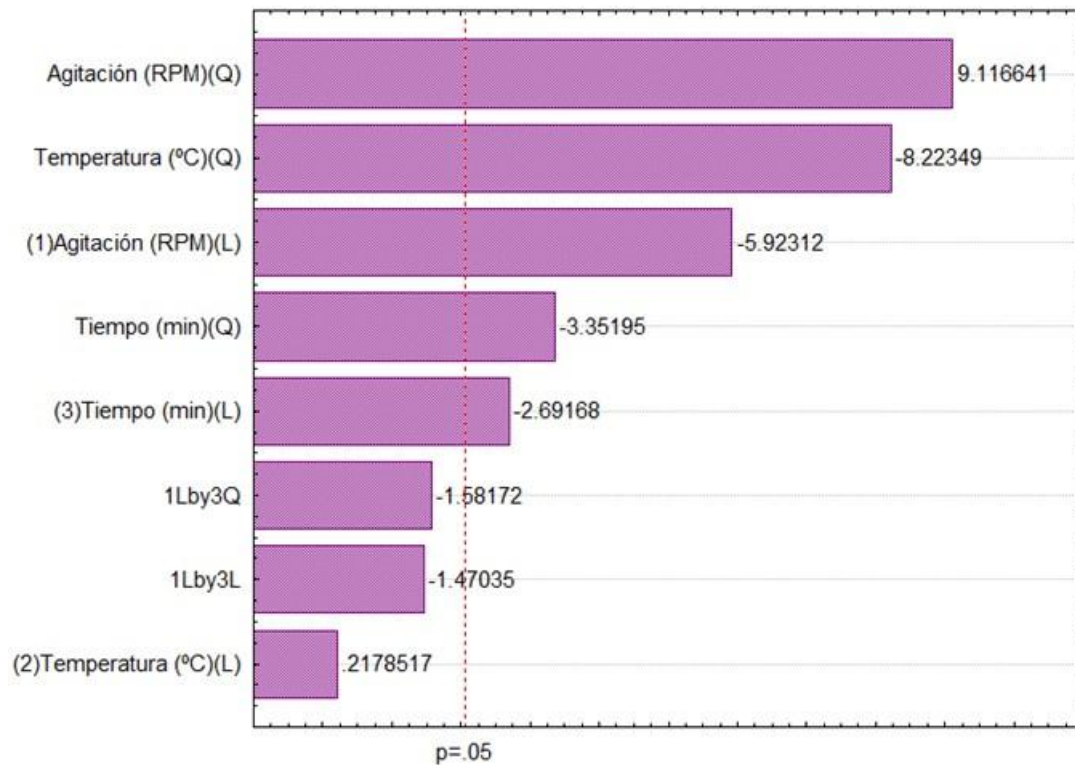
Anexo 27. Datos generados para obtener el rendimiento del Almidón Resistente del chuño (continuación)

Ensayos	Replicas	Lecturas de Absorbancias	Regresión	Absorbancia Muestra	Absorbancia de la Glucosa	ug de glucosa / ml	Volumen, ul	Factor de conversión	Peso de muestra, ug	%AR tunta
7	1	0.04	$0,025x + 0,0513$	0.052	0.059	0.888	15000	0.9	56000	42.83
	2	0.01	$0,025x + 0,0513$	0.051	0.059	0.872	15000	0.9	56000	42.05
	3	0.05	$0,0425x + 0,0498$	0.052	0.059	0.879	15000	0.9	56000	42.37
	4	0.04	$0,0425x + 0,0498$	0.051	0.059	0.871	15000	0.9	56000	41.99
8	1	0.05	$0,0365x + 0,0292$	0.031	0.059	0.527	15000	0.9	56000	25.42
	2	0.02	$0,0365x + 0,0292$	0.030	0.059	0.508	15000	0.9	56000	24.49
	3	0.04	$0,031x + 0,032$	0.033	0.059	0.565	15000	0.9	56000	27.24
	4	0.02	$0,031x + 0,032$	0.033	0.059	0.552	15000	0.9	56000	26.64
9	1	0.03	$0,032x + 0,0253$	0.026	0.059	0.447	15000	0.9	56000	21.54
	2	0.03	$0,032x + 0,0253$	0.026	0.059	0.446	15000	0.9	56000	21.49
	3	0.041	$0,034x + 0,0443$	0.046	0.059	0.775	15000	0.9	56000	37.35
	4	0.027	$0,034x + 0,0443$	0.045	0.059	0.767	15000	0.9	56000	36.96

Anexo 28. Rendimiento de almidón resistente de la tunta y chuño

E	Codificados			No codificados			Rendimiento de AR de Tunta (%)				Rendimiento de AR del chuño (%)			
	X ₁	X ₂	X ₃	Agit. (rpm)	Tem. (°C)	Tiem. (min)	R 1	R 2	R 3	R 4	R 1	R 2	R 3	R 4
1	-1	-1	-1	2000	30	20	37.11	37.04	41.08	40.90	60.35	60.44	57.47	56.92
2	-1	0	1	2000	35	40	27.22	27.21	25.45	25.60	48.47	48.39	43.49	43.48
3	-1	1	0	2000	40	30	36.13	36.14	41.09	41.29	21.58	21.61	24.83	25.02
4	0	-1	1	3000	30	40	45.21	45.22	43.76	43.62	44.40	44.08	46.17	45.68
5	0	0	0	3000	35	30	23.10	22.98	36.92	37.06	38.83	38.84	41.37	41.40
6	0	1	-1	3000	40	20	47.51	47.50	48.96	48.93	24.68	23.72	30.38	30.52
7	1	-1	0	4000	30	30	25.83	25.84	27.77	27.92	42.83	42.05	42.37	41.99
8	1	0	-1	4000	35	20	24.85	24.85	23.60	23.87	25.42	24.49	27.24	26.64
9	1	1	1	4000	40	40	31.61	32.34	29.41	28.92	21.54	21.49	37.35	36.96

Anexo 29. Variables significativas en el rendimiento (%) del almidón resistente de la tunta (ART) según el diagrama Pareto

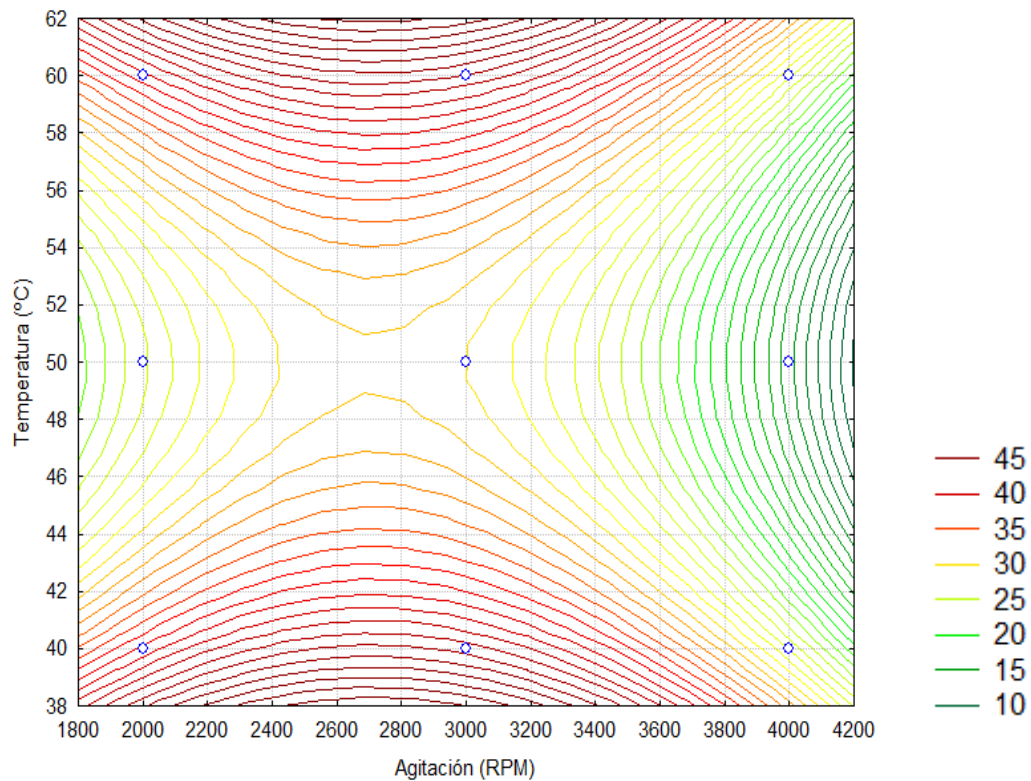


Anexo 30. Coeficiente de Regresión del rendimiento del AR de la tunta

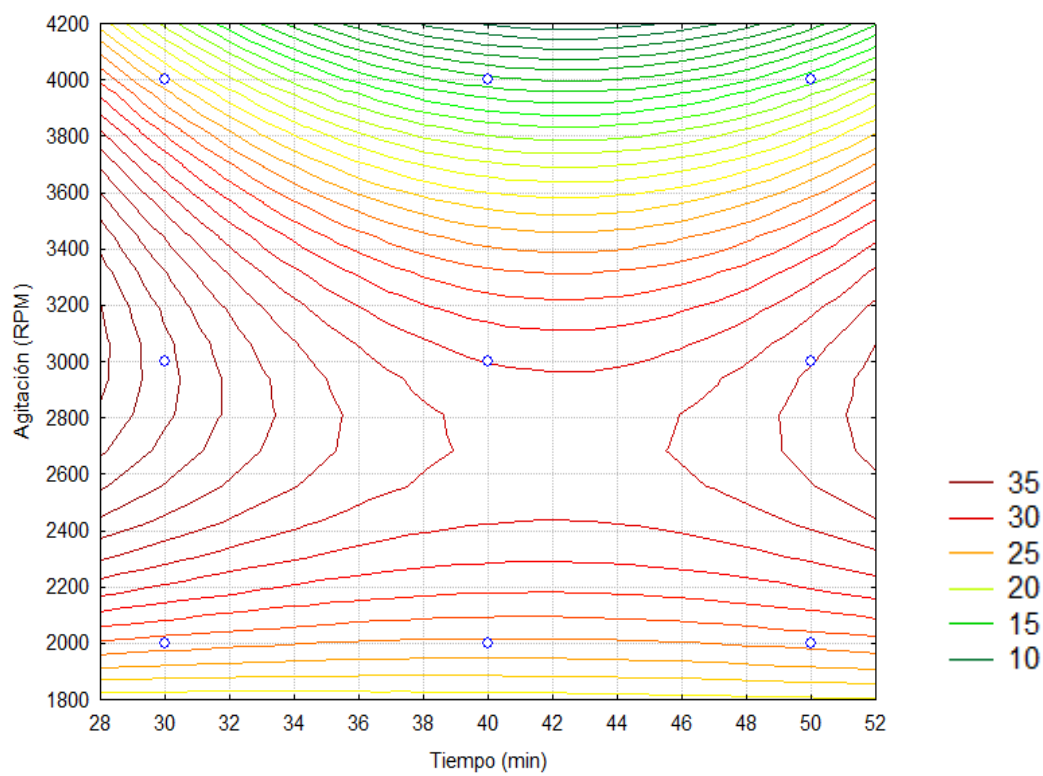
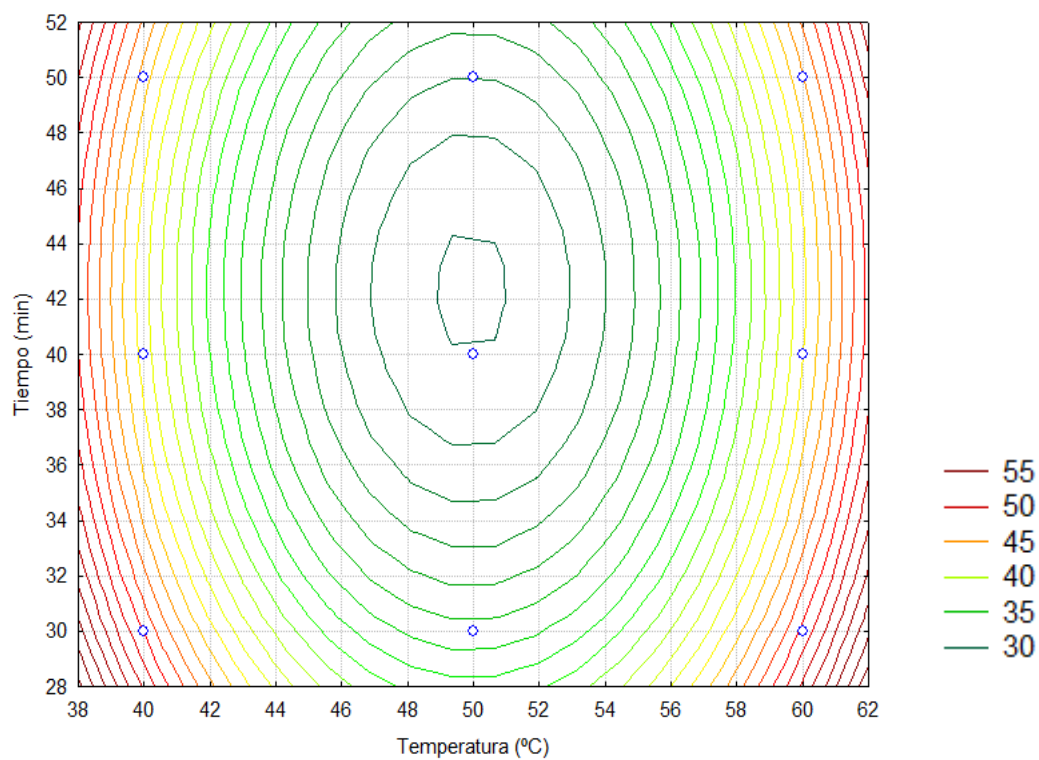
$R^2=0.90186$; $R_{ajustado}=0.87279$

Factor	Coefficiente Regresión	Error Estándar	t (27)	p
Media/Interc.	176.32	90.94	1.94	0.06
(1) Agitación (RPM) (L)	0.11	0.03	3.60	0.00
Agitación (RPM) (Q)	-0.00	0.00	-9.12	0.00
(2) Temperatura (°C) (L)	-12.66	1.54	-8.20	0.00
Temperatura (°C) (Q)	0.13	0.02	8.22	0.00
(3) Tiempo (t) (L)	4.55	4.63	0.98	0.33
Tiempo (t) (Q)	-0.05	0.06	-0.92	0.37
1L by 3L	-0.00	0.00	-1.68	0.10
1L by 3Q	0.00	0.00	1.58	0.13

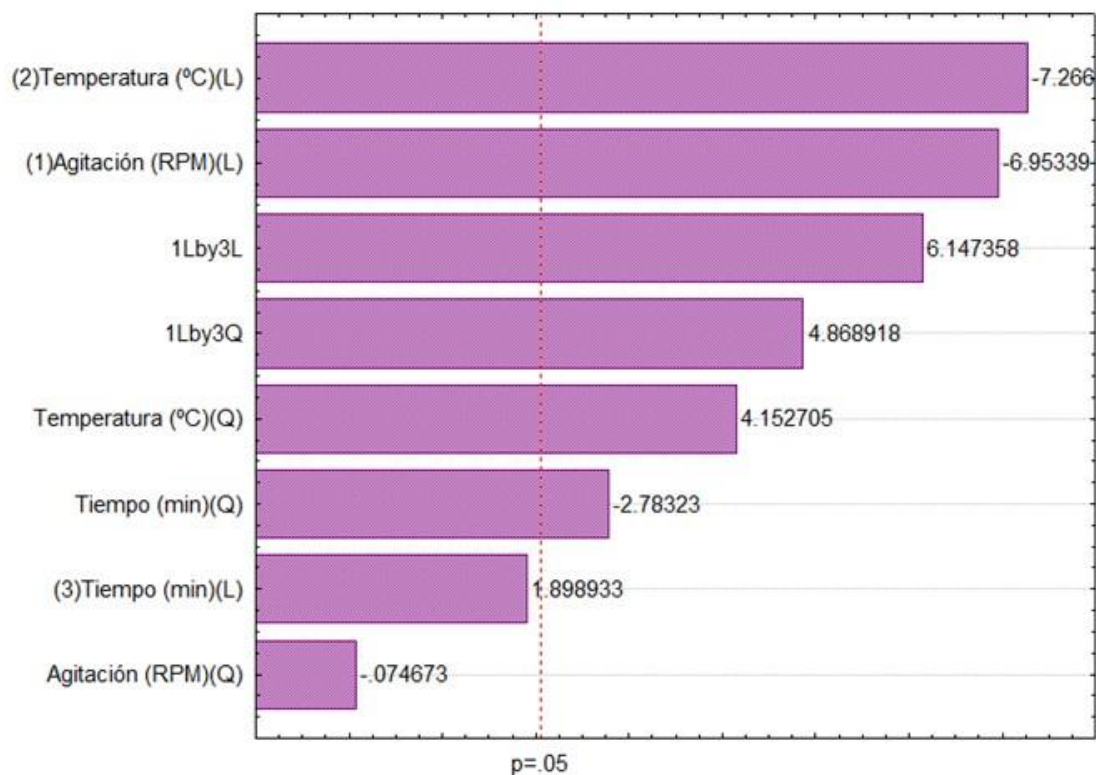
Anexo 31. Diagrama de Contorno para el rendimiento (%) del almidón resistente de la tunta



Anexo 31. Diagrama de Contorno para el rendimiento (%) del almidón resistente de la tunta (continuación)



Anexo 32. Variables significativas en el rendimiento (%) del almidón resistente del chuño (ARC) según el diagrama Pareto

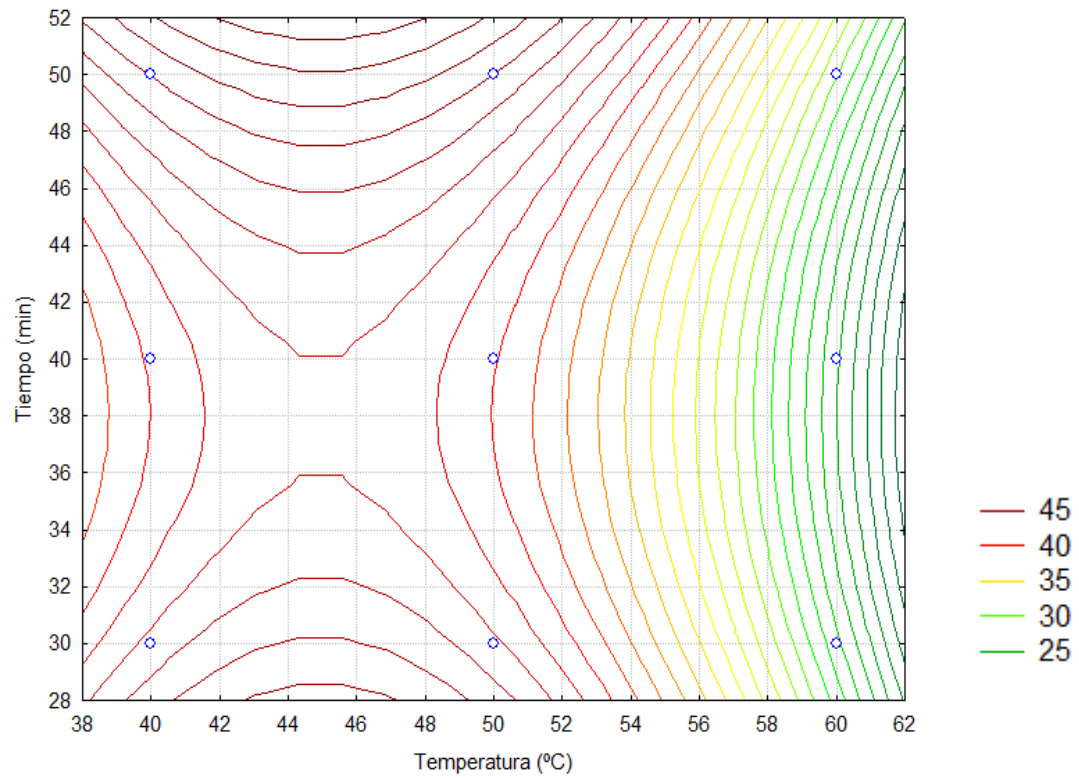
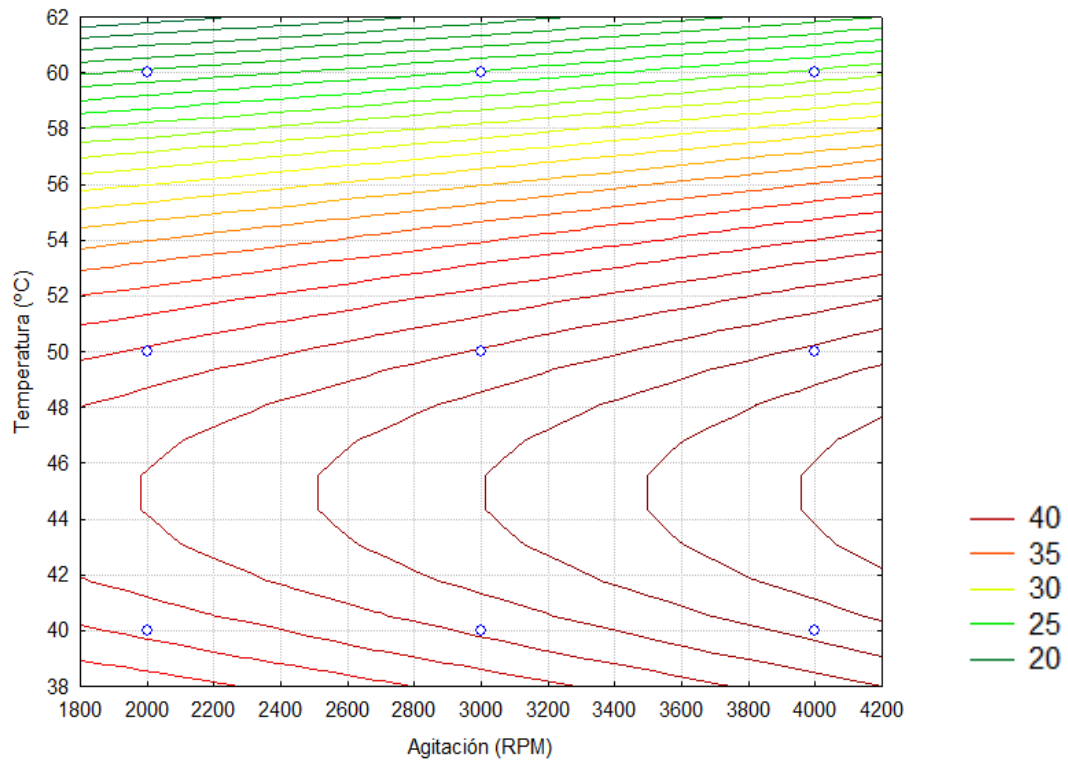


Anexo 33. Coeficiente de Regresión del rendimiento del AR del chuño

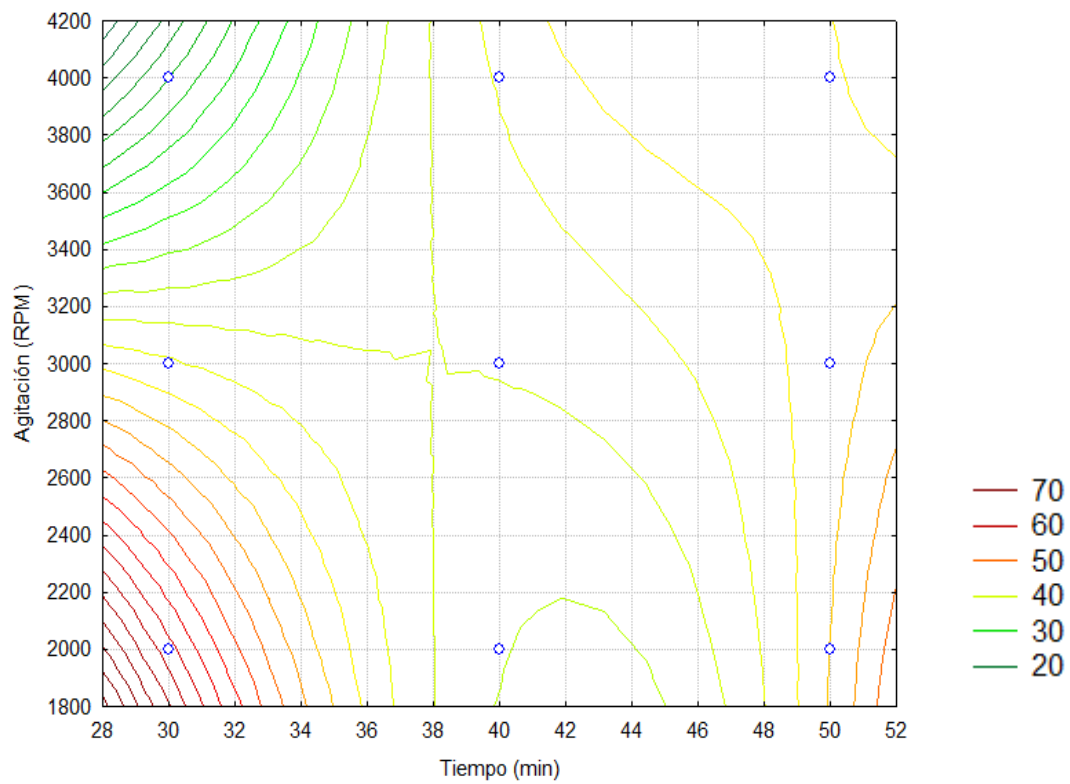
$R^2=0.92851$; $R_{ajustado}=0.90733$

Factor	Coefficiente Regresión	Error Estándar	t (27)	p
Media/Interc.	542.04	105.38	5.14	0.00
(1) Agitación (RPM) (L)	-0.20	0.03	-5.75	0.00
Agitación (RPM) (Q)	0.00	0.00	0.07	0.94
(2) Temperatura (°C) (L)	6.67	1.79	3.73	0.00
Temperatura (°C) (Q)	-0.07	0.02	-4.15	0.00
(3) Tiempo (t) (L)	-30.57	5.36	-5.70	0.00
Tiempo (t) (Q)	0.35	0.07	5.31	0.00
1L by 3L	0.01	0.00	5.30	0.00
1L by 3Q	-0.00	0.00	-4.87	0.00

Anexo 34. Diagrama de Contorno para el rendimiento (%) del almidón resistente del chuño



Anexo 34. Diagrama de Contorno para el rendimiento (%) del almidón resistente del chuño (continuación)



Anexo 35. Porcentaje de área y cristalinidad relativa del almidón de tunta y chuño

Almidón de Tunta	
$^{\circ}2\theta$	% Área
11.48	7.83
14.55	6.13
17.27	5.01
19.66	2.47
22.20	6.24
23.90	2.11
26.34	1.62
Cristalinidad relativa %	31.41

Almidón de Chuño	
$^{\circ}2\theta$	% Área
11.73	7.24
14.37	6.52
17.21	5.34
19.75	3.17
22.20	5.02
24.18	2.31
26.59	1.58
Cristalinidad relativa %	31.18