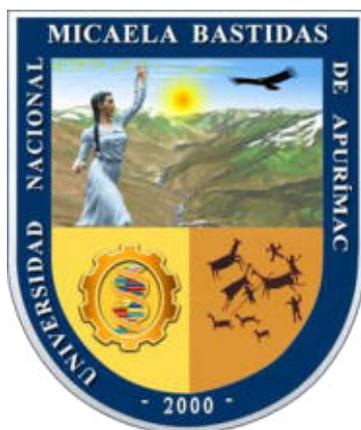


UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



TESIS

Isoterma de adsorción, propiedades funcionales y vida útil de la harina de chuño blanco de papa andina ccompis (*Solanum tuberosum*) proveniente de la Comunidad de Mollocco – Antabamba

Presentado por:

Veronica Allca Ayala

Jacqueline Sierra Puga

Para optar el Título de Ingeniero Agroindustrial

Abancay, Perú

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



TESIS

**“ISOTERMA DE ADSORCIÓN, PROPIEDADES FUNCIONALES Y VIDA ÚTIL DE LA HARINA DE CHUÑO BLANCO DE PAPA ANDINA CCOMPIS (*Solanum tuberosum*) PROVENIENTE DE LA COMUNIDAD DE MOLLOCCO – ANTABAMBA”**

Presentado por **Veronica Allca Ayala** y **Jacqueline Sierra Puga**, para optar el Título de:  
**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

Sustentado y aprobado el 24 de mayo del 2022, ante el jurado evaluador:

**Presidente:**

*Dra. Guadalupe Chaquilla Quilca*

**Primer Miembro:**

*Dr. Juan Silver Barreto Carbajal*

**Segundo Miembro:**

*M.Sc. Luis Fernando Pérez Falcón*

**Asesor:**

*Ing. Jorge Beltrán Mendoza Cáceres*



## **Agradecimiento**

*Un profundo agradecimiento a la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac y más aun a los distinguidos docentes de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Agroindustrial, que con sus conocimientos y experiencias en el proceso de nuestra formación profesional nos ayudaron a prepararnos para afrontar nuestra actividad.*



## **Dedicatoria**

*Doy gracias a Dios en primer lugar por darme esta nueva oportunidad de vida y especialmente a nuestros padres que sin ellos no habiéramos realizado este estudio. A nuestros hermanos por su paciencia durante estos largos años. A cada uno de nuestros amigos por su enseñanza en la vida.*



“Isoterma de adsorción, propiedades funcionales y vida útil de laharina de chuño blanco de papa andina ccompis (*Solanum tuberosum*) proveniente de la comunidad de Mollocco - Antabamba”

Línea de investigación: Caracterización, desarrollo de procesos e innovación en la agroindustria

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



## ÍNDICE

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>2</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>3</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>4</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>4</b>
1.1    Descripción del problema.....	4
1.2    Enunciado del problema .....	5
1.2.1    Problema general.....	5
1.2.2    Problemas específicos .....	5
1.2.3    Justificación de la investigación .....	6
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>7</b>
<b>OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....</b>	<b>7</b>
2.1    Objetivos de la investigación.....	7
2.1.1    Objetivo general .....	7
2.1.2    Objetivos específicos.....	7
2.2    Hipótesis de la investigación .....	8
2.2.1    Hipótesis general .....	8
2.2.2    Hipótesis específicas .....	8
2.3    Operacionalización de variables para isoterma de adsorción de harina de chuño blanco.....	9
2.3.1    Operacionalización de variables para propiedades funcionales de harina de chuño blanco.....	9
2.3.2    Operacionalización de variables para vida útil de la harina de chuño blanco .....	10
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>11</b>
<b>MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....</b>	<b>11</b>
3.1    Antecedentes .....	11
3.2    Marco teórico .....	13
3.2.1    Papa andina .....	13



3.2.1.1	Tipos de papa andina ccompis .....	13
3.2.1.2	Taxonomía.....	14
3.3	Marco conceptual .....	14
3.3.1	Chuño.....	14
3.3.1.1	Tipos de chuño .....	15
3.3.1.2	Calidad del chuño.....	16
3.3.1.3	Proceso de elaboración del chuño.....	17
3.3.2	El agua en los alimentos .....	19
3.3.2.1	Actividad de agua ( $a_w$ ).....	20
3.3.3	Isoterma de adsorción.....	21
3.3.3.1	Interés de las isotermas para la tecnología alimentaria .....	23
3.3.3.2	Clasificaciones de las isotermas .....	23
3.3.3.3	Efectos de la temperatura en las isotermas .....	24
3.3.3.4	Modelos matemáticos para las isotermas de adsorción.....	25
3.3.3.5	Modelo de GAB (Guggenheim, Anderson y de bóer) .....	26
3.3.3.6	Calidad de ajuste del modelo matemático .....	27
3.3.3.7	Métodos de medición de isotermas de adsorción.....	27
3.3.3.8	Almacenamiento de los alimentos .....	29
3.3.3.9	Factores que alteran a los alimentos almacenados .....	29
3.3.4	Propiedades funcionales de la harina de chuño.....	31
3.3.4.1	Gelatinización del almidón.....	31
3.3.4.2	Índice de absorción de agua (IAA) .....	33
3.3.4.3	Índice de solubilidad en agua (ISA) .....	33
3.3.4.4	Poder de hinchamiento (PH).....	33
3.3.5	Vida útil.....	34
3.3.5.1	Factores que afectan la calidad del tiempo de vida útil.....	36
3.3.5.2	Alteración oxidativa o peroxidación de grasas .....	39
3.3.5.3	Acidez en las harinas .....	39
3.3.5.4	Método del análisis de acidez .....	40



3.3.5.5	Humedad .....	41
3.3.5.6	Vida útil de alimentos empacados .....	41
3.3.5.7	Rol del envase en la ampliación del tiempo de vida útil de los alimentos .....	41
3.3.5.8	Permeabilidad al vapor de agua y tiempo de vida útil .....	42
3.3.5.9	Tipos de empaques usados en la industria alimentaria.....	42
3.3.5.10	Estudio acelerado de vida de útil .....	45
<b>CAPÍTULO IV .....</b>		<b>46</b>
<b>METODOLOGÍA .....</b>		<b>46</b>
4.1	Tipo y nivel de investigación.....	46
4.2	Diseño de la investigación .....	46
4.2.1	Diseño de la investigación para isoterma de adsorción.....	47
4.2.2	Diseño de investigación para propiedades funcionales .....	47
4.2.3	Diseño de investigación para vida útil.....	48
4.3	Población y muestra .....	49
4.4	Procedimiento.....	49
4.5	Técnicas e instrumentos.....	50
4.5.1	Determinación de isoterma de adsorción.....	50
4.5.1.1	Determinación de humedad de equilibrio (Xe).....	53
4.5.2	Determinación de las propiedades funcionales .....	55
4.5.2.1	Determinación de temperatura de gelatinización (TG): .....	55
4.5.2.2	Determinación del índice de solubilidad en agua (ISA), índice de absorción de agua (IAA) y poder de hinchamiento (PH).....	55
4.5.3	Determinación de las propiedades fisicoquímicas .....	57
4.5.3.1	Determinación de la humedad .....	57
4.5.3.2	Determinación del contenido de grasa.....	57
4.5.3.3	Determinación de acidez .....	58
4.5.4	Determinación de vida útil .....	59
4.5.4.1	Obtención de las muestras .....	59
4.5.4.2	Rotulado de las muestras .....	59



4.5.4.3	Almacenamiento de las muestras.....	59
4.5.4.4	Determinación del orden y constantes de reacción de acidez y su dependencia con la temperatura.....	60
4.5.4.5	Determinación de la ganancia de humedad en el conjunto alimento empaque.....	61
4.6	Análisis estadístico .....	61
<b>CAPÍTULO V.....</b>		<b>62</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>		<b>62</b>
5.1	Análisis de resultados .....	62
5.2	Contrastación de hipótesis .....	82
5.3	Discusión.....	85
<b>CAPÍTULO VI.....</b>		<b>88</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>88</b>
6.1	Conclusiones .....	88
6.2	Recomendaciones .....	89
<b>REFERENCIA BIBLIOGRAFICA .....</b>		<b>90</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>100</b>



## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> — Operacionalización de variables para isotermas de adsorción de harina de chuño blanco.....	9
<b>Tabla 2</b> — Operacionalización de variables para propiedades funcionales .....	9
<b>Tabla 3</b> — Operacionalización de variables para vida útil .....	10
<b>Tabla 4</b> — Clasificación botánica de la papa andina ccompis ( <i>Solanum tuberosum</i> ).....	14
<b>Tabla 5</b> — Valor nutricional del chuño por 100 g .....	15
<b>Tabla 6</b> — Estándar de calidad para el chuño blanco .....	16
<b>Tabla 7</b> — Principales variedades de papa para la obtención de chuño blanco .....	16
<b>Tabla 8</b> — Métodos para la determinación de las isotermas de adsorción.....	28
<b>Tabla 9</b> — Tolerancia a la temperatura del microorganismo .....	30
<b>Tabla 10</b> — Temperatura de gelatinización y gel de algunos almidones .....	32
<b>Tabla 11</b> — Actividad microbiana según su actividad de agua para diferentes tipos de alimento...38	
<b>Tabla 12</b> — Propiedades del Polietileno de baja densidad (LDPE).....	44
<b>Tabla 13</b> — Propiedades del Polietileno de Alta Densidad (HDPE) .....	45
<b>Tabla 14</b> — Diseño de investigación para isoterma de adsorción.....	47
<b>Tabla 15</b> — Diseño de investigación para propiedades funcionales .....	48
<b>Tabla 16</b> — Diseño de investigación para vida útil (días) .....	48
<b>Tabla 17</b> — Variación de las humedades relativas de equilibrio (%) en función de las tres temperaturas utilizadas en el experimento.....	51
<b>Tabla 18</b> — Cantidad de sal y agua recomendadas para la preparación de soluciones salinas saturadas.....	52
<b>Tabla 19</b> — Propiedades fisicoquímicas de la harina de chuño .....	62
<b>Tabla 20</b> — Datos experimentales de humedad de equilibrio, $X_e$ (g.H <sub>2</sub> O/g. m.s.) de las muestras de la harina de chuño blanco en función de la actividad de agua ( $a_w$ ) a diferentes temperaturas.....	62
<b>Tabla 21</b> — Datos experimentales de humedad de equilibrio, $X_e$ (g.H <sub>2</sub> O/g. m.s.) de las muestras de la harina de chuño blanco en función de la actividad de agua ( $a_w$ ) a diferentes temperaturas.....	64
<b>Tabla 22</b> — Datos experimentales de humedad de equilibrio, $X_e$ (g.H <sub>2</sub> O/g.m.s.) de las muestras de la harina de chuño blanco en función de la actividad de agua ( $a_w$ ) a diferentes temperaturas.....	65



<b>Tabla 23</b> — Con los datos obtenidos de las gráficas polinómica procedemos a realizar las isotermas de adsorción, relacionando en el eje X la $a_w$ y en eje de Y la humedad de equilibrio ( $X_e$ ) ajustando con la ecuación de GAB a 15 °C, 25 °C y 35 °C .....	66
<b>Tabla 24</b> — Parámetros de ajuste de las isotermas de adsorción de la harina de chuño blanco .....	70
<b>Tabla 25</b> — Comparación de propiedades funcionales de la harina de chuño .....	70
<b>Tabla 26</b> — Temperatura de gelatinización (TG) de la harina de chuño .....	72
<b>Tabla 27</b> — Resultados de la variación de humedades en la harina de chuño blanco a temperatura de almacenamiento de 30 °C .....	72
<b>Tabla 28</b> — Resultados de la variación de humedades en la harina de chuño blanco a temperatura de almacenamiento de 40 °C .....	73
<b>Tabla 29</b> — Resultados de la variación de humedades en la harina de chuño blanco a temperatura de almacenamiento de 50 °C .....	74
<b>Tabla 30</b> — Cálculos a partir de la ecuación linealizada de Arrhenius .....	76
<b>Tabla 31</b> — De la gráfica la ecuación de Arrhenius Ln (humedad) vs tiempo de almacenamiento .....	77
<b>Tabla 32</b> — Calculando el valor de la constante $k$ a 20 °C utilizando la ecuación de Arrhenius .....	77
<b>Tabla 32</b> — Estimación de vida útil de la harina de chuño blanco a diferentes temperaturas en función del porcentaje (%) de humedad .....	78
<b>Tabla 33</b> — Variación de acidez en la harina de chuño blanco a temperatura de almacenamiento de 30 °C .....	79
<b>Tabla 34</b> — Variación de acidez en la harina de chuño blanco a temperatura de almacenamiento de 40 °C .....	80
<b>Tabla 35</b> — Variación de acidez en la harina de chuño blanco a temperatura de almacenamiento de 50 °C .....	81



## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> — Congelación de la papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) .....	18
<b>Figura 2</b> — Pisado de la papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ).....	18
<b>Figura 3</b> — Remojo de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ).....	18
<b>Figura 4</b> — Secado del chuño blanco ( <i>Solanum tuberosum</i> ).....	19
<b>Figura 5</b> — Isotermas de adsorción y de desorción. ....	22
<b>Figura 6</b> — Los cinco tipos de isotermas de adsorción de Van der Waals .....	24
<b>Figura 7</b> — Influencia de la temperatura en las isotermas de adsorción.....	25
<b>Figura 8</b> — Diagrama de Flujo cualitativo para obtención de la harina de chuño blanco .....	50
<b>Figura 9</b> — Diagrama de flujo para determinación de isoterma de adsorción .....	54
<b>Figura 10</b> — Se muestra la gráfica polinómica a 15 °C, los datos fueron tomados de la tabla 20 y llevados a Excel para luego obtener los parámetros de adsorción. ....	63
<b>Figura 11</b> — Se muestra la gráfica polinómica a 25 °C, los datos fueron tomados de la tabla 21 y llevados a Excel para luego obtener los parámetros de adsorción. ....	64
<b>Figura 12</b> — Se muestra la gráfica polinómica a 35 °C, los datos fueron tomados de la tabla 22 y llevados a Excel para luego obtener los parámetros de adsorción. ....	66
<b>Figura 13</b> — Se muestra la isoterma de adsorción usando el modelo de GAB a 15 °C, los datos fueron llevados a Excel donde nos dio como resultado una isoterma de forma sigmoidea tipo I...67	67
<b>Figura 14</b> — Se muestra la isoterma de adsorción usando el modelo de GAB a 25°C, los datos fueron llevados a Excel donde nos dio como resultado una isoterma de forma sigmoidea tipo I...68	68
<b>Figura 15</b> — Se muestra la isoterma de adsorción usando el modelo de GAB a 35 °C, los datos fueron llevados a Excel donde nos dio como resultado una isoterma de forma sigmoidea tipo I...68	68
<b>Figura 16</b> — Se muestra las isotermas de adsorción de la harina de chuño blanco a temperaturas de 15 °C, 25 °C y 35 °C.....	68
<b>Figura 17</b> — Se muestra el porcentaje de humedad vs tiempo a 30 °C de la harina de chuño blanco.....	73
<b>Figura 18</b> — Se muestra el porcentaje de humedad vs tiempo a 40 °C de la harina de chuño blanco.....	74
<b>Figura 19</b> — Se muestra el porcentaje de humedad vs tiempo a 50 °C de la harina de chuño blanco.....	75



<b>Figura 20</b> — Se muestra el porcentaje de humedad vs tiempo a 30 °C, 40 °C, 50 °C de la harina de chuño blanco. ....	75
<b>Figura 21</b> — Se muestra el Ln (Humedad) vs. Tiempo de almacenamiento de harina de chuño blanco.....	76
<b>Figura 22</b> — Se muestra la ecuación de Arrhenius el Ln K VS 1/T (°K) de la harina de chuño blanco.....	78
<b>Figura 23</b> — Se muestra el porcentaje de acidez a 30 °C de la harina de chuño blanco. ....	79
<b>Figura 24</b> — Se muestra el porcentaje de acidez a 40 °C de la harina de chuño blanco. ....	80
<b>Figura 25</b> — Se muestra el porcentaje de acidez a 50 °C de la harina de chuño blanco. ....	81



## INTRODUCCIÓN

El chuño tiene componentes importantes en la dieta de los pobladores rurales y urbanos, como fuente de energía y una forma de conservar la papa, diversificar su consumo debido a que el 80% de producción nacional de chuño proviene de las provincias de la región alto andina (QUISPE, 2009).

Durante el almacenamiento, los productos alimenticios deshidratados aumentan su contenido de humedad hasta alcanzar el límite aceptable correspondiente a la actividad crítica del agua, lo que provoca el deterioro físico, químico y microbiológico del alimento, lo que se traduce en una disminución de su calidad y vida útil. La harina chuño blanco es un producto con bajo contenido de humedad, debido a su naturaleza, sufre diversas reacciones de descomposición y tiene la capacidad de absorber la humedad del ambiente, si las condiciones de almacenamiento son insuficientes, afectara su calidad y vida útil.

Las isotermas de adsorción, propiedades funcionales y la vida útil, pueden determinarse por su contenido de humedad y el empaque adecuado de la harina de chuño blanco, aspectos que se han estudiado para facilitar su uso, almacenamiento adecuado y la contribución en la cadena productiva y valor del chuño como subproducto de la papa.

Con la estimación de las isotermas de adsorción de la harina de chuño blanco en este trabajo, conoceremos las condiciones óptimas de temperatura y humedad relativa (%HR) para su óptima conservación, evitando cambios en sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas conociendo los parámetros para su almacenamiento se logrará mayor tiempo de vida útil de la harina de chuño blanco.

El poco conocimiento sobre la importancia de la temperatura, la actividad de agua ( $a_w$ ) y humedad relativa del ambiente de almacenamiento de alimentos lo que provoca pérdidas significativas de producto, de allí la importancia de determinar la isoterma de adsorción, propiedades funcionales y vida útil de la harina de chuño blanco de papa andina compis (*Solanum tuberosum*), proveniente de la comunidad de Mollocco - Antabamba.



## RESUMEN

El presente trabajo se realizó con la finalidad de determinar los parámetros de humedad relativa (%HR) y temperatura de almacenamiento mediante la estimación de las isotermas de adsorción, propiedades funcionales y vida útil de la harina de chuño blanco de papa andina ccompis (*Solanum tuberosum*), proveniente de la comunidad de Mollocco – Antabamba en la región de Apurímac. Mediante el diseño de bloques completamente al azar (DBCA). Se determinó las isotermas de adsorción de humedad de harina de chuño y se midió por el método gravimétrico estático a tres temperaturas (15, 25 y 35 °C) para el rango de  $a_w$  entre 0.11 a 0.44. Las isotermas se modelaron utilizando la ecuación GAB (Guggenheim, Anderson y de Boer). Las isotermas de adsorción de la harina de chuño blanco mostraron un comportamiento tipo I. De acuerdo con los parámetros estadísticos analizados, el modelo GAB se ajusta mejor al comportamiento experimental de adsorción de la harina de chuño blanco, mostrando que el valor del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) es mayor al 95%, la desviación porcentual promedio (P) es menor al 10% y el estimado del error estándar de humedad (SEM) es menor que 0.022 y el excedente se distribuye aleatoriamente. La humedad de monocapa ( $X_m$ ) depende de la temperatura, aumentando de 0.2755 a 1.0191 g.H<sub>2</sub>O/g.m.s., en el rango de temperaturas de 15, 25 y 35 °C.

Se determinó las propiedades funcionales en el cual las temperaturas de gelatinización oscilan entre 70, 75 y 80 °C; el índice de absorción de agua fue de 1.5988 g.H<sub>2</sub>O/g.m.s.; el índice de solubilidad en agua fue 1.5068 g.H<sub>2</sub>O/g.m.s., y poder de hinchamiento fue 1.5957 mL/g.

Así mismo se determinó el tiempo de vida útil de la harina de chuño blanco mediante pruebas aceleradas, interacción de alimento – empaque, obteniéndose los siguientes resultados: La vida útil estimada fue 199.50 días, 6.65 meses a 20 °C, 111.86 días, 3.73 meses a 30 °C, 51.61 días, 1.72 meses a 40 °C y 58.11 días, 1.94 meses a 50 °C.

Las características fisicoquímicas de la harina de chuño blanco fueron: % de humedad (12.6529%), Acidez (0.2%) expresada como ácido sulfúrico y contenido total de grasa (0.3141%).

**Palabras clave:** *Isoterma de adsorción, propiedades funcionales, vida útil.*



## ABSTRACT

The present work was carried out with the purpose of determining the parameters of relative humidity (%RH) and storage temperature by estimating the adsorption isotherms, functional properties and useful life of white chuño flour from Andean potato ccompis (*Solanum tuberosum*), from the Mollocco-Antabamba community in the Apurímac region. Using the completely randomized block design (DBCA). The moisture adsorption isotherms of chuño flour were determined and measured by the static gravimetric method at three temperatures (15, 25 and 35 °C) for the aw range between 0.11 and 0.44. Isotherms were modeled using the GAB (Guggenheim Anderson de Boer) equation. The adsorption isotherms of white chuño flour showed type I behavior. According to the statistical parameters analysed, the GAB model fits better to the experimental adsorption behavior of white chuño flour, showing that the value of the coefficient of determination ( $R^2$ ) is greater than 95%, the mean percentage deviation (P) is less than 10%, and the moisture standard error estimate (SEM) is less than 0.022, and the excess is randomly distributed. Monolayer humidity ( $X_m$ ) depends on temperature, increasing from 0.2755 to 1.0191 g.H<sub>2</sub>O/g.m.s., in the temperature range of 15, 25 and 35 °C.

The functional properties were determined in which the gelatinization temperatures range between 70, 75 and 80 °C; the water absorption rate was 1.5988 g.H<sub>2</sub>O/g.m.s.; the solubility index in water was 1.5068 g.H<sub>2</sub>O/g.m.s., and the swelling power was 1.5957 mL/g.

Likewise, the shelf life of white chuño flour was determined through accelerated tests, food-packaging interaction, obtaining the following results: The estimated shelf life was 199.50 days, 6.65 months at 20 °C, 111.86 days, 3.73 months at 30 °C, 51.61 days, 1.72 months at 40 °C and 58.11 days, 1.94 months at 50 °C.

Likewise, the shelf life of white chuño flour was determined through accelerated tests, food-packaging interaction, obtaining the following results: The estimated shelf life was 199.50 days, 6.65 months at 20 °C, 111.86 days, 3.73 months at 30 °C, 51.61 days, 1.72 months at 40 °C and 58.11 days, 1.94 months at 50 °C.

**Keywords:** *Adsorption isotherm, functional properties, useful life.*



## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1 Descripción del problema

YAMAMOTO (1988), La antigua técnica de elaboración del chuño a la que hombres y mujeres contribuyeron para crear diversos derivados con fines alimentarios y medicinales. Estas tecnologías de tratamiento aún se encuentran en uso en toda la región andina, en las regiones quechua, Jalca o Puna, a más de 3500 m.s.n.m. Las variedades más conocidas hoy en día son: papa seca, chuño negro, chuño blanco y tocosh. Cada tipo tiene un proceso de elaboración especial y también tiene sus propias características.

Es tal la preocupación, sobre el chuño, debido a la necesidad de preservarlo de los factores físicos y microbiológicos del medio ambiente. Ese 30% alimento pos cosecha chuño se pierde en los países en desarrollo por mal manejo, deterioro y plagas.(FAO, 1993).

El chuño en Antabamba, es de consumo cotidiano e importante en la dieta de los pobladores; a la vez es una fuente de ingresos importantes para la familia rural, con la cual generalmente solventan los gastos de alimentación, educación y salud. Su elaboración se inicia en su mayoría por pequeñas cantidades debido a que no existen tecnologías de innovación que repercutan en la calidad del producto. Debido a que existen factores que afectan a la calidad de la materia prima como plagas de papa (gorgojos, gusanos de tierra, etc.) incidiendo en la calidad del chuño, generando pérdidas significativas para la comercialización del chuño blanco que afectan el cultivo de la papa, generando pérdidas significativas para la comercialización del chuño blanco producido por los agricultores. Por el cual la elaboración de la harina de chuño solo es para el consumo necesario, evitando producir mayores cantidades para no incrementar costos de producción por no contar con conocimientos de innovación tecnológicas de un control adecuado de temperatura, humedad, y empaque para su almacenamiento.

Por tal motivo se propone la isoterma de adsorción como el medio por el cual se evaluarán las condiciones de almacenamiento, predecir la vida útil con ayuda de modelos matemáticos y evaluar parámetros de humedad relativa y temperatura.



Así mismo, se requiere un estudio detallado de sus propiedades funcionales tales como: Índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA), poder de hinchamiento (PH) y Temperatura de gelatinización (TG), para fomentar la producción del chuño en los productores agropecuarios y generar rentabilidad en sus actividades productivas.

## 1.2 Enunciado del problema

### 1.2.1 Problema general

¿Cuál será la isoterma de adsorción, propiedades funcionales y vida útil de la harina de chuño blanco de papa andina ccompis (*Solanum tuberosum*) proveniente de la comunidad de Mollocco - Antabamba?

### 1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál será el contenido de humedad de equilibrio ( $X_e$ ) a través del modelo GAB de harina de chuño blanco de papa andina ccompis (*Solanum tuberosum*) proveniente de la comunidad de Mollocco - Antabamba?
- ¿Cuál será las propiedades funcionales como: poder de hinchamiento (PH), índice de solubilidad en agua (ISA) y el índice de absorción de agua (IAA) de harina de chuño blanco de papa andina ccompis (*Solanum tuberosum*), ¿proveniente de la comunidad de Mollocco - Antabamba?
- ¿Cuál será la temperatura de gelatinización de la harina de chuño blanco de la papa andina ccompis (*Solanum tuberosum*), proveniente de la comunidad de Mollocco - Antabamba?
- ¿Cuál será el tiempo de vida útil considerando la variación de acidez y humedad de la harina de chuño blanco de papa andina ccompis (*Solanum tuberosum*), proveniente de la comunidad de Mollocco - Antabamba?



### 1.2.3 Justificación de la investigación

En este estudio se determinaron alternativas de solución mediante la determinación de la isoterma de adsorción y sus propiedades funcionales, así como la vida útil y condiciones adecuadas de almacenamiento de la harina de chuño blanco, las cuales inciden en la calidad del producto final y el aprovechamiento óptimo de la harina de chuño. Su importancia en la ciencia de los alimentos se deriva de la capacidad de predecir posibles cambios en la estabilidad del producto, al tiempo que ayuda a seleccionar el empaque para estimar la humedad máxima permitida durante el almacenamiento.

Apurímac es una de las regiones con potencial biodiverso, donde sus variedades de tubérculos pueden ser aprovechadas de forma sostenible para la agroindustria, productores y comercializadores tal es el caso de la harina de chuño blanco de la región estudiada por sus propiedades alimentarias y la importancia económica para las familias.

Conocer la isoterma de adsorción es una de las formas más adecuadas para estudiar su efecto sobre los alimentos, ya que puede establecer las condiciones ideales para su procesamiento y almacenamiento. Esto puede predecir el tiempo de secado, la vida útil de los productos deshidratados envasados en envases permeables y el equilibrio después de mezclar productos con diferentes actividades de agua (NOGUEIRA, 1990).

Es importante comprender los efectos de la temperatura de gelatinización (TG), el poder de hinchamiento (PH), índice de solubilidad en agua (ISA) y el índice de absorción de agua (IAA), por lo que es necesario obtener el almidón y comprender su composición funcional, de esta forma, es puede determinar su potencial y aplicación en el procesamiento o comercialización, entre las industrias de mayor aceptación se encuentra la alimentaria y farmacéutica, ya que actúa como espesante, gelificante. Controla e influye en ciertas propiedades como la humedad, consistencia, apariencia y estabilidad durante el almacenamiento.



## CAPÍTULO II

### OBJETIVOS E HIPÓTESIS

#### 2.1 Objetivos de la investigación

##### 2.1.1 Objetivo general

Determinar la isoterma de adsorción, propiedades funcionales y vida útil de la harina de chuño blanco de papa andina ccompis (*Solanum tuberosum*) proveniente de la comunidad de Mollocco - Antabamba.

##### 2.1.2 Objetivos específicos

- Determinar el contenido de humedad de equilibrio ( $X_e$ ) a través del modelo GAB de la harina de chuño blanco de la papa andina ccompis (*Solanum tuberosum*) proveniente de la comunidad de Mollocco - Antabamba.
- Determinar las propiedades funcionales como: poder de hinchamiento (PH), índice de solubilidad en agua (ISA) y el índice de absorción de agua (IAA) de la harina de chuño blanco de la papa andina ccompis (*Solanum tuberosum*), proveniente de la comunidad de Mollocco - Antabamba.
- Determinar la temperatura de gelatinización de la harina de chuño blanco de la papa andina ccompis (*Solanum tuberosum*), proveniente de la comunidad de Mollocco – Antabamba.
- Determinar el tiempo de vida útil considerando la variación de acidez y humedad de la harina de chuño blanco de la papa andina ccompis (*Solanum tuberosum*), proveniente de la comunidad de Mollocco – Antabamba.



## 2.2 Hipótesis de la investigación

### 2.2.1 Hipótesis general

La humedad de equilibrio, temperatura, las actividades de agua de soluciones salinas y tiempo de almacenamiento influyen en la isoterma de adsorción y vida útil de la harina de chuño blanco de papa andina ccompis (*Solanum tuberosum*), proveniente de la comunidad de Mollocco – Antabamba.

### 2.2.2 Hipótesis específicas

- La actividad de agua de las soluciones salinas y la temperatura influyen en la humedad de equilibrio ( $X_e$ ) de la isoterma de adsorción a través del modelo GAB de la harina de chuño blanco de papa andina ccompis (*Solanum tuberosum*), proveniente de la comunidad de Mollocco – Antabamba.
- El tiempo y la temperatura influyen significativamente sobre las propiedades funcionales como: poder de hinchamiento (PH), índice de solubilidad en agua (ISA) y el índice de absorción de agua (IAA) de la harina de chuño blanco de la papa andina ccompis (*Solanum tuberosum*), proveniente de la comunidad de Mollocco - Antabamba.
- La temperatura es un factor que influye significativamente en la estabilidad de la harina gelatinizada de chuño blanco de la papa andina ccompis (*Solanum tuberosum*), proveniente de la comunidad de Mollocco – Antabamba.
- El tiempo y la temperatura influyen en la vida útil (variación de acidez y humedad) de la harina de chuño blanco de papa andina ccompis (*Solanum tuberosum*), proveniente de la comunidad de Mollocco – Antabamba.

## 2.3 Operacionalización de variables para isotermas de adsorción de harina de chuño blanco

**Tabla 1 — Operacionalización de variables para  $q_a$  isotermas de adsorción de harina de chuño blanco**

<b>Variables independientes</b>	<b>Indicador</b>	<b>Índice</b>
Tiempo de secado	Tiempo de tratamiento	Días
Temperatura de secado	Temperatura de 15, 25 y 35.	°C
LiCl, $KC_2H_3O_2$ , $MgCl_2$ , $K_2CO_3$	$a_w$	Adimensional
<b>Variables dependientes</b>	<b>Indicador</b>	<b>Índice</b>
Humedad de equilibrio ( $X_e$ )	Humedad	$g.H_2O/g.m.s.$

### 2.3.1 Operacionalización de variables para propiedades funcionales de harina de chuño blanco

**Tabla 2 — Operacionalización de variables para propiedades funcionales**

<b>Variables independientes</b>	<b>Indicador</b>	<b>Índice</b>
Tiempo	Tiempo de tratamiento	Minuto.
Temperatura	Temperatura de tratamiento	°C
<b>Variables dependientes</b>	<b>Indicador</b>	<b>Índice</b>
Propiedades funcionales	Temperatura de gelatinización (TG)	°C
	Índice de solubilidad en agua (ISA)	$g.soluble/g.muestra$
	Índice de absorción en agua (IAA)	$g.gel/g.muestra$
	Poder de hinchamiento (PH)	$mL/g$

### 2.3.2 Operacionalización de variables para vida útil de la harina de chuño blanco

Tabla 3 — Operacionalización de variables para vida útil

<b>Variables independientes</b>	<b>Indicador</b>	<b>Índice</b>
Tiempo	Tiempo de almacenamiento	Días
Temperatura	Temperatura de almacenamiento	°C
<b>Variables dependientes</b>	<b>Indicador</b>	<b>Índice</b>
Propiedades fisicoquímicas	Acidez	% de ácido sulfúrico
	Humedad	%
<b>Variable interviniente y/o extraña</b>	<b>Indicador</b>	<b>Índice</b>
Empaque primario	Bolsa(polietileno de alta densidad)	PEAD

## CAPÍTULO III

### MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 3.1 Antecedentes

- a) VEGA (2006), en su investigación “*Isotermas de adsorción en harina de maíz (Zea mays L.)*”, determinó la isoterma de adsorción de humedad de la harina de maíz a tres temperaturas (7, 22 y 5 °C) en un rango de actividad de agua de 0.10 a 0.95. Las isotermas se modelan utilizando siete ecuaciones alimentarias de uso común. La bondad de ajuste se evaluó utilizando los coeficientes de regresión ( $R^2$ ) y el error porcentual medio relativo (%E), de los cuales se puede ver que el modelo propuesto por GAB, Oswin y Halsey se ajusta bien a los datos experimentales. La humedad monocapa ( $X_m$ ) y la humedad de segura ( $X_S$ ) mostraron dependencia de la temperatura con valores (EA) de 13.6 y 3.3 kJ/mol, respectivamente. El calor isotérmico de adsorción (QS) se calculó mediante la ecuación de Clausius Clapeyron, que dio un máximo de 21 kJ/mol, a un contenido de humedad de 0.075 g.H<sub>2</sub>O/g.m.s.
- b) PERALTA (2014), en su investigación “*Condiciones de almacenamiento de dos variedades de granos de kiwicha (Amaranthus caudatus)*”, determinó modelar las condiciones de almacenamiento de semillas de kiwicha (*Amaranthus caudatus*) de las variedades Oscar Blanco y Centenario, mediante isotermas de adsorción, para un rango de humedad relativa de 10 a 90% a temperatura de 18 °C a 30 °C. Se estudiaron once modelos matemáticos, de los cuales los modelos de Alan y Shove son los modelo más adecuados con isotermas de adsorción ( $R^2 > 0.93$  y %E < 9.2) para dos variedades de kiwicha. Se observó que la temperatura de almacenamiento afectó significativamente la humedad de equilibrio ( $X_e$ ) de las semillas de kiwicha; El valor de monocapa GAB ( $X_m$ ) para semillas de kiwicha de la variedad Oscar Blanco varió de 0.05 1 a 0.0673 g.H<sub>2</sub>O/g.m.s., mientras que para la variedad Centenario varió de 0.06 a 0.023 g.H<sub>2</sub>O/g.m.s.; El calor isotérmico de adsorción es la energía requerida para remover el agua monocapa adherida a las regiones polares activas de varios componentes de las semillas de kiwicha, variando entre 6.301 y 0.236 KJ/g para contenido de humedad de 0.06 a 0.15 g.H<sub>2</sub>O/g.m.s., para Oscar Blanco y la variedad Centenario oscila de 10.86 a 0.0223 KJ/g para humedad a 0.12 g.H<sub>2</sub>O/g.m.s.



- c) PALMER (2011), en su investigación “Isotermas de adsorción del ají (*Capsicum annum, L.*) Seco”, determinó isotermas a 25 °C, 35 °C y 40 °C, por el método de gravedad estática, con soluciones salinas saturadas en el rango de actividad de agua ( $a_w$ ) de 0.11 a 0.85. Curvas de absorción. Los chiles secos exhibieron un comportamiento Tipo III, típico de alto contenido de carbohidratos. Los datos experimentales ( $X_e$  frente a  $a_w$ ) se ingresaron en seis modelos de isotermas comúnmente utilizados en alimentos (BET, GAB, Halsey, Oswin, ChungPfof y Henderson), demostrando que el valor  $R^2$  del coeficiente de determinación es superior al 96%, la desviación porcentual media  $P$  es inferior al 10%, el error de humedad SEM calculado es inferior a 0.022 y los residuos se distribuyen aleatoriamente. El contenido de humedad de la monocapa  $X_m$  en el modelo GAB muestra una dependencia de la temperatura que disminuye de 0.0850 a 0.0707 g.H<sub>2</sub>O/g.m.s., sobre el rango de temperatura de 25 °C a 40 °C.
- d) PEREIRA (2017), en su investigación “*vida de anaquel de la harina de trigo (Triticum aestivum l.) Extruida, elaborada por el molino san Miguel E.I.R.L, mediante pruebas de vida útil Aceleradas*” determinaron para ello el método experimental que consiste en la obtención, codificación, almacenamiento de muestras, métodos de análisis, determinación del orden y constantes de reacción del índice de peróxidos y su dependencia con la temperatura, evaluación de la humedad de las muestras utilizó interacciones entre alimentos y envases, análisis estadístico y vida útil para aumentar la humedad. Los resultados obtenidos son los siguientes: Para la determinación de los valores de peróxido (PI) a 30, 40, 50 y 60 °C y con un periodo de evaluación de 7 semanas se obtuvieron PI de 3.20, 4.29, 4.31 y 5.37. respectivamente.
- e) DIAZ (2015), en su investigación “*Determinación de las propiedades físicas, químicas, tecno-funcionales y la estabilidad en congelación/descongelación del almidón de cuatro variedades de (Solanum tuberosum ssp. Andigenum) papa nativa, determino las propiedades funcionales del almidón de cuatro variedades de papa nativa (Solanum tuberosum ssp. Andigenum): Ccompis, Huamantanga, Putis y Qeccorani; cultivadas en la provincia de Andahuaylas, Apurímac*”, determinaron las propiedades funcionales, evaluó la temperatura de gelatinización, la transparencia de la pasta, la viscosidad, la absorción de agua, el índice de solubilidad en agua, el poder de hinchamiento y la estabilidad de congelación-descongelación a través de la tasa de compresión. El rango del valor



obtenido de la temperatura de gelatinización es 63.9 °C a 70.0 °C; el valor porcentual de la transmitancia de luz obtenida de la claridad de la pulpa es 59.9% a 80.2%; el índice de absorción de agua es 6.332 a 10.278 g.gel/g. de la muestra; El índice de solubilidad en agua es 2.03 a 2.85 g.soluble/g de la muestra; el poder de hinchamiento es 6.380% a 10.253%.

## 3.2 Marco teórico

### 3.2.1 Papa andina

La papa es uno de los productos alimenticios más consumidos por el ser humano, la producción anual en el Perú es de 4.7 millones de toneladas, lo que la sitúa en el puesto 14° a nivel mundial en cuanto a su consumo per cápita de 89 kg/persona al año y se proyecta que para el 2021 el consumo superare los 100 kg por persona.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO DEL PERÚ (2018), se caracteriza por un alto contenido de carbohidratos, vitamina C, fósforo, potasio, calcio y proteína de alta calidad que pueden ser utilizadas para mantener la homeostasis en el cuerpo humano (FAO, 2018).

Los agricultores andinos dividen las variedades de papa en dos categorías dulce y amargo, y el contenido de glicoalcaloides determina esta distinción. Variedades dulces compuestas por papas nativas (imilla, blanca, imilla negra, ccompis, huayro), y papa mejorada (andina, revolución, mi Perú, chaska); se caracterizan por un bajo contenido en glicoalcaloides, y que se pueden comer frescos; los tubérculos tienen diferentes colores y formas, son muy sensibles a las heladas, por lo que el límite de siembra es alrededor de los 3900 m.s.n.m. Sus genes pueden adaptarse tanto a días largos como cortos (HERRERA LUZ CARDENAS, 2018).

#### 3.2.1.1 Tipos de papa andina ccompis

Las papas andinas de variedad ccompis comprenden tres especies (PRODERN, 2018).

- Ccompis: *Solanum tuberosum*.
- Yuraq ccompis: *Solanum tuberosum*.
- Puca ccompis: *Solanum tuberosum*.



### 3.2.1.2 Taxonomía

Según SALAZAR. M (2008), realizan la clasificación taxonómica de la papa de la siguiente manera.

**Tabla 4 — Clasificación botánica de la papa andina ccompis (*Solanum tuberosum*)**

<b>Reino</b>	<b>Plantae</b>
<b>División</b>	Magnoliophyta
<b>Nombre científico</b>	<i>Solanum Tuberosum</i>
<b>Clase</b>	Magnoliopsida
<b>Orden</b>	Solanales
<b>Familia</b>	Solanaceae
<b>Genero</b>	<i>Solanum</i>
<b>Especie</b>	<i>Tuberosum</i>

Extraído de SALAZAR M. (2008)

## 3.3 Marco conceptual

### 3.3.1 Chuño

El chuño es un alimento de color blanco de superficie rugosa, obtenido de papas nativas y sometidas a un proceso de liofilización que consiste en lavado en ríos y exposición al sol para su secado. Este proceso tradicional lo realizan los agricultores (GUIDI, 2007).

El chuño se produce en el departamento de Puno, donde se concentra el 70% de la producción nacional, mientras que el 30% restante se distribuye en otros sectores, Apurímac 2%, Junín 8%, Huancavelica 2%, Ancash 3% y Cuzco 15% (MARTINEZ, 2016).

Además, el chuño se produce en altitudes superiores a los 3500 m.s.n.m. en los meses de invierno (junio, julio y agosto), los tubérculos están expuestos a temperaturas bajo cero, luz solar y agua corriente del río. Este proceso produce alimentos deshidratados y nutritivo (PEÑARRIETA, 2015).



### 3.3.1.1 Tipos de chuño

Hay dos tipos de chuño negro y blanco (tunta o moraya), que son productos elaborados a partir de la papa mediante un proceso de deshidratación.

- **Chuño negro:** Requiere de procedimiento de congelación, descongelación, pisado y secado.
- **Chuño blanco tunta o moraya:** Requiere un proceso de congelado, remojado lavado y un segundo congelado y secado.

El contenido total de carbohidratos del chuño negro y blanco, así como el contenido de fibra, es en realidad tres veces el valor de las papas frescas.

**Tabla 5 —Valor nutricional del chuño por 100 g**

Componentes	Papa	Chuño blanco	Chuño negro
Calorías(g)	101	326	333
Agua (g)	73.6	16.5	14.1
Proteínas(g)	2.1	3.8	4
Grasas (g)	0.3	0.2	0.2
Carbohidratos(g)	22.4	78.9	79.8
Fibra (g)	0.9	3.1	1.9
Ceniza (g)	1.1	2	2.3
<b>Minerales</b>			
Calcio (mg)	6	40	44
Fosforo (mg)	55	51	203
Hierro (mg)	0.6.00	3.2	0.9
<b>Vitaminas</b>			
Tiamina (mg)	0.07	0.03	0.13
Riboflavina (mg)	0.08	0.14	0.16
Ácido ascórbico(mg)	20.5	2.6	1.7
Niacina(mg)	1.89	3.4	3.4

Extraído del GOBIERNO REGIONAL PUNO (2011)

### 3.3.1.2 Calidad del chuño

La calidad del chuño debe ser alta, lo cual depende de las condiciones y del proceso, y es necesaria la experiencia de implementación del proceso y las prácticas de los comuneros quienes lo elaboran el chuño, por eso la calidad comercial del chuño se basa en los diversos estándares que se muestran en la tabla 6. Por lo tanto, es importante que los comerciantes y consumidores consideren el color, el tamaño, el peso y el olor antes de comprar un producto (MARTINEZ, 2016).

**Tabla 6 — Estándar de calidad para el chuño blanco**

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

Extraído de JULCA MARTINEZ (2016)

El chuño blanco se procesa de las principales variedades de papa amarga y papa dulce que se cultivan en el sur del Perú, como se puede observar en la siguiente Tabla 7.

**Tabla 7 — Principales variedades de papa para la obtención de chuño blanco**

Variedad Papa Amarga	Variedad Papa Dulce	Variedad Papa Mejorada
Piñaza	Imilia Blanca	Chasca
Locka	Casa Blanca	Andina
Occocuri Blanco	Imillia Negra	San Juan
Keta	Ccompis	Tahuaqueña

Extraído de JULCA MARTINEZ (2016)

### 3.3.1.3 Proceso de elaboración del chuño

En las comunidades alto andinas de las distintas regiones, así como la comunidad de Molloco la elaboración del chuño empieza por el pos cosecha de la papa andina nativa, para luego ser llevado a lugares adecuados geográficamente y climatológicamente, donde se expondrá a la intemperie las papas. Todo este proceso tiene como inicio en el mes de junio, julio y agosto, ya que las precipitaciones pluviales empiezan a escasear y comienza la temporada de heladas; donde la temperatura llega por debajo de los cero grados centígrados, presencia de nubes es escasa y la radiación solar es fuerte, factores que son adecuados para la congelación y secado del chuño.

Los comuneros vienen practicando una técnica ancestral, luego de dejar la papa durante tres días expuesta a la helada en horas de la noche, en el día se procede juntar en pequeños montículos para el pisado, frotando de esta manera con los pies hasta lograr que se rompa la cascara, eliminando el agua de la papa atrapada entre la cascara y la parte almidonosa del producto dependiendo del tipo de chuño a producir se seguirá el proceso del chuño blanco o en su defecto el chuño negro, en el caso del chuño blanco luego de pisar se lleva a un (pozo aproximadamente de 2 metros de ancho por 1 metro de profundidad), situados en pequeños arroyos de bajo caudal algunos lo realizan en pequeñas lagunas, en sacos hechos a base rafia permeables, aquí permanecerá la papa congelada y pisada por dos semanas aproximadamente luego se procede a sacar el producto para su secado.





**Figura 1— Congelación de la papa (*Solanum tuberosum*)**  
**Extraído elaboración propia (2021)**



**Figura 2 — Pisado de la papa (*Solanum tuberosum*)**  
**Extraído elaboración propia (2021)**



**Figura 3 — Remojo de papa (*Solanum tuberosum*)**  
**Extraído elaboración propia (2021)**



**Figura 4 — Secado del chuño blanco (*Solanum tuberosum*)  
Extraído elaboración propia (2021)**

### **3.3.2 El agua en los alimentos**

Según CLEMENTE (2003), el agua es un componente clave del sistema alimentario, y afecta significativamente las variables del proceso, las características del producto y los factores de estabilidad. Todos los alimentos contienen agua y elementos estabilizadores. Todos los alimentos contienen agua, y la mayoría de los alimentos perecederos (física y químicamente) contienen mucha agua. El agua controla la mayoría de los fenómenos físicos, químicos y microbiológicos que ocurren en los alimentos porque forma el medio de reacción y es un componente clave en la mayoría de ellos.

Se ha observado que diferentes alimentos con el mismo contenido de humedad pueden tener diferencias significativas en la estabilidad o vida útil. Esto se debe en parte a la diferente fuerza con la que el agua se une a los componentes no acuosos; El agua fuertemente ligada es menos susceptible a las actividades de degradación, como el crecimiento microbiano y la hidrólisis química, que el agua débilmente ligada. El término "actividad del agua" ( $a_w$ ) se introdujo para explicar la fuerza con la que el agua se une a varios compuestos no acuosos.(FENNEMA, 2000).

### 3.3.2.1 Actividad de agua ( $a_w$ )

La actividad del agua ( $a_w$ ) es un parámetro que indica la disponibilidad de agua en los alimentos para reacciones químicas y bioquímicas (por ejemplo oxidación de lípidos, reacciones enzimáticas, reacción de Maillard) y crecimiento microbiano (FENNEMA, 2000).

La actividad del agua ( $a_w$ ) está determinada por la relación entre la presión parcial de vapor de agua en el alimento y la presión de vapor de agua pura a la misma temperatura.

La actividad del agua es la relación entre la fugacidad de la solución y la fugacidad del disolvente puro ( $f_a$ ). La fugacidad se entiende como la tendencia de un solvente a "salirse de la solución" (CHOQUE, 2009).

La actividad del agua ( $a_w$ ) está determinada por la relación entre la, presión parcial de vapor de agua en el alimento y la presión de vapor de agua pura a la misma temperatura. La actividad del agua es la relación entre la fugacidad de la solución (y la fugacidad del solvente puro ( $f_a$ ). La fugacidad se entiende como la tendencia de un solvente a "salirse de la solución" (MARQUEA, 2009).

$$a_w = \frac{f}{f_o} \approx \frac{p}{p_o} = \frac{HRE}{100}$$

Donde:

$a_w$ : Actividad de agua.

P: Presión parcial de vapor de agua en el sistema (alimento).

$P_o$ : Presión de saturación del agua líquida pura a la misma temperatura.

HRE: Humedad relativa de equilibrio.

En el equilibrio, la actividad del agua del alimento es igual a la humedad relativa de su entorno. En este caso, el alimento no gana ni pierde agua (MARQUEA, 2009).



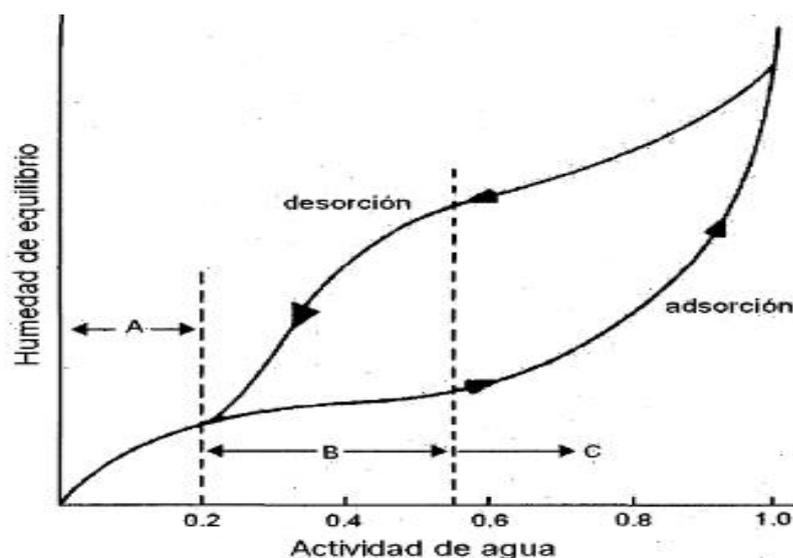
### 3.3.3 Isoterma de adsorción

La isoterma de un producto relaciona gráficamente, a temperatura constante, el contenido de humedad de equilibrio de un producto con la actividad termodinámica de agua, ya que en equilibrio, el parámetro final se debe a la humedad relativa del aire ambiente al producto. Las isotermas son importantes para el análisis y diseño de varios procesos de procesamiento de alimentos, como el secado, la mezcla y el envasado. También son importantes para predecir cambios en la estabilidad de los alimentos y para seleccionar materiales de empaque apropiados (ZUG, 2002).

Las isotermas de adsorción de alimentos se obtienen representando la cantidad de agua sorbida frente a la acción del agua, generando curvas sigmoideas (ARAUJO, 2001).

Las isotermas de adsorción se puede obtener en dos direcciones: adsorción y desorción. El primero se obtiene cuando el material seco se coloca en diferentes ambientes, aumentando la humedad relativa y midiendo el aumento de peso por retención de agua. El segundo, el material húmedo se coloca inicialmente en las mismas condiciones ambientales utilizadas para la adsorción, y se mide la pérdida de peso, debido a la salida de agua (KUROZAWA, 2005).

Según lo mencionado se puede observar en la Figura 5 las isotermas de adsorción y desorción de humedad.



**Figura 5 — Isotermas de adsorción y de desorción**

Extraído de BADUI (1999)

Las curvas de adsorción y desorción de la Figura 5, llamadas histéresis, pueden ser causadas por varios factores como condensación capilar, cambios en la estructura física del material, impurezas superficiales y transiciones de fase (LABUZA, 1985 y CHOQUE, 2009).

Es comúnmente observado en productos altamente higroscópicos (HELDMAN et al., 2007).

Las isotermas de los alimentos, en la Figura 5 se dividen en tres regiones, indicadas A, B y C. En la región A, las moléculas de agua se unen fuertemente a sitios específicos en el sólido que contiene grupos hidroxilo unidos, grupos polisacáridos, Carbonilo y aminas de proteínas, con enlaces de hidrógeno y fuerzas dipolares de iones. Por lo tanto, esta agua no se puede utilizar como disolvente y por lo tanto no puede actuar sinérgicamente microbiológicamente, enzimáticamente o químicamente. Esta región se llama monocapa. En la zona B, el agua tiene varias capas y esta menos unida, generalmente en pequeños capilares, mientras que el agua en la zona C está estructurada y puede disolverse libremente en grandes capilares o en estado libre (FELLOWS, 2000).

### 3.3.3.1 Interés de las isothermas para la tecnología alimentaria

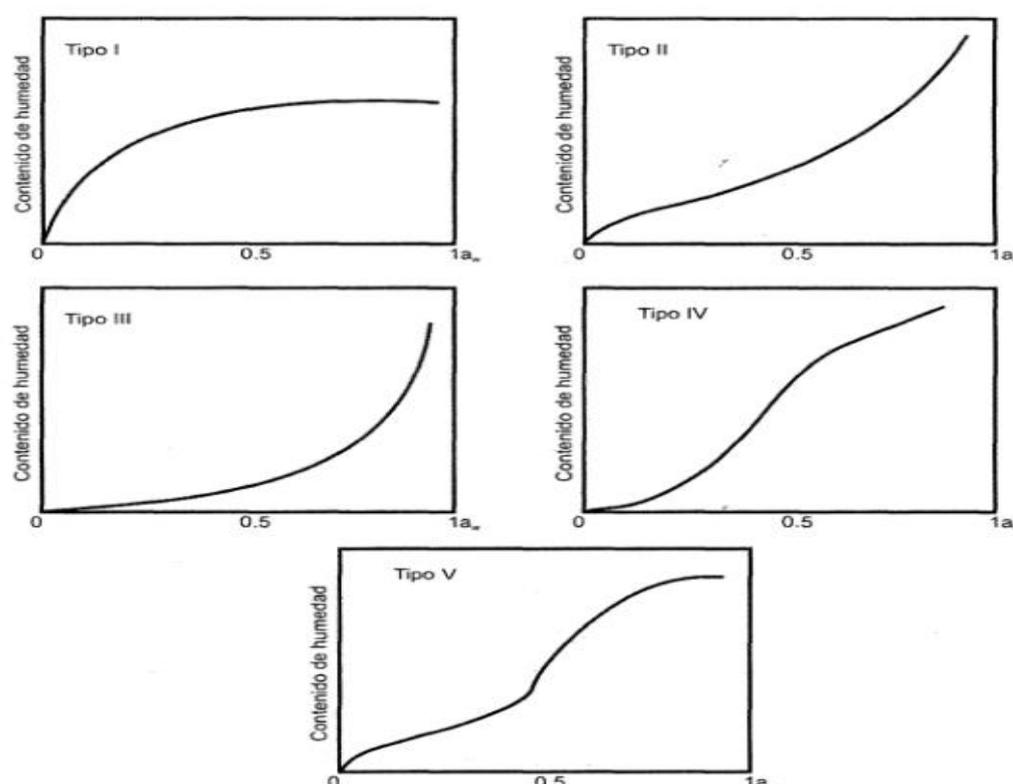
NOGUEIRA (1990), el conocimiento de la isoterma de adsorción del agua es uno de los medios más adecuados para estudiar su efecto sobre los alimentos, ya que puede crear las condiciones ideales para su procesamiento y conservación. Predice el tiempo de secado, el tiempo de la vida útil de los productos deshidratados en envases permeables y las condiciones de equilibrio después de mezclar productos con diferentes actividades de agua.

Las isothermas proporcionan la información para la determinación de relaciones termodinámicas que permiten la interpretación teórica de los resultados experimentales. A partir de estas funciones se puede determinar la energía libre requerida para transferir moléculas de agua en estado de vapor a la superficie del alimento. Se puede determinar la entalpía del agua, que proporciona la energía de interacción entre el agua y el alimento y por tanto es un indicador muy importante en el diseño de equipos de secado.

### 3.3.3.2 Clasificaciones de las isothermas

Se muestra cinco tipos de comportamiento de isothermas de adsorción Figura 6, (SHAFIUR, 2003), nos dice que si los alimentos contienen compuestos cristalinos hidrosolubles como azúcares o sales, la isoterma es cóncava del tipo III. La mayoría de los alimentos restantes tienen isothermas del tipo II, el punto de inflexión de la isoterma (Tipo II) indica el cambio de la capacidad de ligar agua a las cantidades relativas de agua unida y libre. El Tipo I es indicativo de un sólido poroso no hinchable tal como los silicatos anti aglomerantes "anticracking".



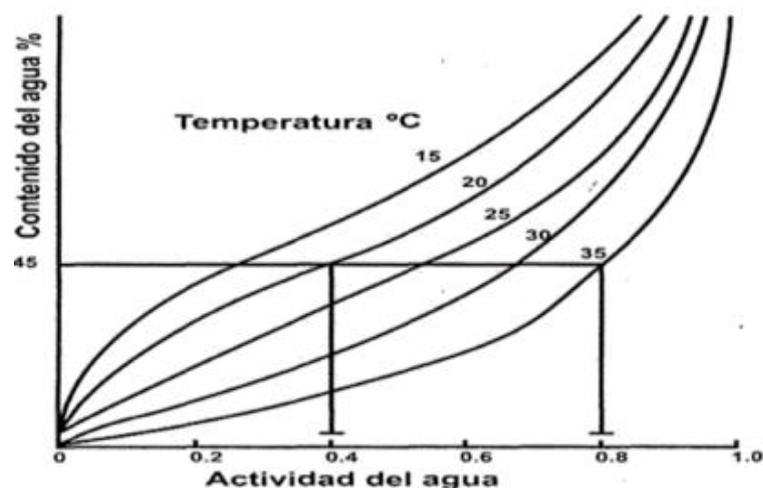


**Figura 6 — Los cinco tipos de isothermas de adsorción de Van der Waals**  
 Extraído de ALAKALI (2009) y CHOQUE (2009).

### 3.3.3.3 Efectos de la temperatura en las isothermas

El efecto de la temperatura es importante porque los alimentos no son mezclas perfectas y la actividad del agua varía con la temperatura. La temperatura afecta la movilidad de las moléculas de agua y el equilibrio entre las fases absorbente y la fase de vapor, para una actividad de agua constante, la cantidad de agua adsorbida disminuye como resultado del aumento de la temperatura. La excepción son algunos azúcares, componentes alimentarios de bajo peso molecular que se disuelven en agua y se vuelven más higroscópicos a temperaturas más altas. Por otro lado, la reactividad química y microbiana se ve afectada por la relación temperatura-humedad, ya que la actividad del agua aumenta con el incremento de la temperatura a un contenido de humedad constante (BARBOSA, 2003).

BADUI (1999), muestra que el valor de  $a_w$  aumenta cuando se eleva la temperatura, ya que también aumenta la presión de vapor, lo cual se observa en la Figura 7, mostrando la tendencia del alimento.



**Figura 7 — Influencia de la temperatura en las isoterma de adsorción**  
Extraído de Química de los alimentos BADUI (1999)

### 3.3.3.4 Modelos matemáticos para las isoterma de adsorción

Se han propuesto varios modelos teóricos, semiteóricos y empíricos para expresar el contenido de humedad de equilibrio de los alimentos. Si bien el modelo teóricos considera los principios físicos de la adsorción de humedad, algunas suposiciones realizadas en el desarrollo de las ecuaciones permiten simplificarlo, lo que puede conducir a predicciones teóricas insuficientes de los valores de  $a_w$ , (BROOKER et al., 1974 y SANDOVAL et al., 2002).

A pesar de que un gran número de ecuaciones, vienen siendo propuestas para el cálculo de la humedad de equilibrio, ninguna ecuación teórica es capaz de prever exactamente la humedad de equilibrio de productos agrícolas en un amplio rango de temperatura y actividad de agua (humedad relativa) (NASCIMIENTO, 2006).

La ecuación utilizada es para describir el comportamiento de la curva de adsorción de humedad de una muestra de polvo de chuño seco, es mostrada a continuación.

### 3.3.3.5 Modelo de GAB (Guggenheim, Anderson y de bóer)

El modelo de GAB es una ecuación de tres parámetros ajustada a los datos de adsorción de alimentos a una actividad de agua de 0.9. Este modelo es muy utilizado en alimentos y es recomendado por el proyecto europeo COST 90, que trata sobre las propiedades físicas de los alimentos.

Los modelos de GAB pueden representar isothermas con más del 50% de alta precisión. El modelo incluye una tercera constante  $k$ , que mide la diferencia de potencial químico estándar entre las moléculas en la segunda fase y las moléculas en estado líquido puro. Si  $k$  es menor a la unidad, se estimará una adsorción menor a la predicha por BET; (ZUG, 2002).

El modelo de GAB se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$X_e = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w)(1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w)}$$

**Donde:**

$a_w$ : Actividad de agua.

$X_e$ : Humedad de equilibrio.

$X_m$ : Humedad de la monocapa molecular (g.H<sub>2</sub>O/g.m.s.).

$C$ : Constante de Guggenheim, característica del producto y relacionado con el calor de adsorción de la monocapa.

$K$ : Factor de corrección relacionado con el calor de sorción de la multicapa.

Las constantes  $C$  y  $K$  están relacionadas con la interacción de energía entre una molécula de humedad monocapa ( $X_m$ ) en una posición dada y las siguientes moléculas de humedad. (SUMALITHA, 2009).

La constante  $K$  es la tercera constante en la ecuación GAB y mide la diferencia en el estándar químico entre las molécula secundaria y la molécula líquida pura; si  $K$  es menor a la unidad, se estimará una adsorción menor a la predicha por BET (ZUG, 2002).



La constante C se refiere a las interacciones entre los sitios activos del producto y las moléculas de agua (SUMALITHA, 2009).

### 3.3.3.6 Calidad de ajuste del modelo matemático

El criterio para hallar el mejor ajuste del modelo propuesto se evaluó por medio del coeficiente de correlación lineal ( $R^2$ ), el desvío porcentual medio (P). Y el error estándar de humedad (SEM), el cual es el parámetro estadístico ampliamente utilizado en la determinación de isothermas de alimentos.

El cálculo del desvío porcentual medio (P) y el error estándar de humedad (SEM) se realizan mediante las ecuaciones:

$$p = \frac{100}{N} \sum_{i=0}^n \left| \frac{X_{ei} - X_{ci}}{X_{ei}} \right|$$

$$SEM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_{ei} - X_{ci})^2}{N - n}}$$

#### Donde:

$X_{ei}$ : El contenido de humedad de equilibrio experimental (g.H<sub>2</sub>O/g.m.s.)

$X_{ci}$ : Contenido de humedad de equilibrio calculada a partir de cada modelo (g.H<sub>2</sub>O/g.m.s.)

N: Número de puntos experimentales

n: Número de constantes en el modelo

### 3.3.3.7 Métodos de medición de isothermas de adsorción

FEITOSA (1998), clasificó las técnicas para medir las isothermas de adsorción de todo tipo de materiales sólidos Tabla 8. Las isothermas de adsorción se pueden determinar según dos principios básicos: la gravedad y el manómetro o higrómetro. Asimismo, es necesaria la adición de un tercer grupo adicional para adecuar los métodos específicamente para ser aplicados en condiciones extremas (alta

actividad de agua), que muchas veces no se corresponden con las clasificaciones de los otros dos grupos.

El principio del método gravimétrico es determinar la variación de peso de las muestras en equilibrio con diferentes presiones de vapor de agua. Muchos laboratorios han utilizado el método del peso estático porque es la técnica más sencilla, aunque hay un retraso en la determinación. La humedad de equilibrio entre el producto y el entorno circundante se obtiene sin movimiento de aire. En el método dinámico, el aire o el producto permanecen en movimiento hasta que se alcanza el equilibrio. La medición de presión se utiliza en procesos de control de calidad para la determinación rápida de la actividad del agua. Los métodos especiales son métodos únicos que utilizan membranas de celdas de presión para determinar la actividad del agua en materiales con alto contenido de humedad.

**Tabla 8 — Métodos para la determinación de las isotermas de adsorción**

<b>1. Métodos gravimétricos</b>
<b>1.1. Método con registro continuo de cambios de peso.</b>
a) Sistema al vacío.
b) Sistemas dinámicos.
<b>1.2. Método con registro discontinuo de cambios de peso</b>
a) Sistemas estáticos
b) Sistemas dinámicos
c) Sistemas al vacío
<b>2. Métodos manométricos o higrométricos</b>
<b>2.1. Métodos manométricos.</b>
<b>2.2. Métodos higrométricos.</b>
<b>3. Métodos especiales.</b>

Extraído de FEITOSA (1998)



### 3.3.3.8 Almacenamiento de los alimentos

Las hortalizas, frutas, tubérculos, raíces y cereales son productos que pueden deteriorarse rápidamente después de la cosecha, si no se manipulan adecuadamente para su conservación pueden estropearse y perder calidad y valor comercial (ESPINO, 1995).

Un buen almacenamiento requiere un almacenamiento alejado de la humedad, el oxígeno atmosférico y la luz, que afectan los pigmentos y la oxidación (CASP, 1999).

El deterioro de los alimentos se ve afectado por una serie de factores ambientales, incluidos las temperaturas altas y bajas, junto con otros factores que hacen que los alimentos se echen a perder con el tiempo. Los efectos destructivos serán aún más importantes cuando los alimentos estén expuestos a elementos en descomposición durante mucho tiempo (CASP, 1999).

### 3.3.3.9 Factores que alteran a los alimentos almacenados

Para garantizar la vida útil de los productos agrícolas, se debe tener en cuenta que son seres vivos y se someten a procesos fisiológicos, como la respiración, que produce dióxido de carbono cuando las moléculas son oxidadas por el oxígeno. Esto libera agua y libera energía (DENDY et al., 2001).

Los tres principales factores de almacenamiento que afectan la conservación de un producto en particular son: (BRENNAN, 1980).

#### a) Temperatura

El frío y el calor no controlados pueden provocar el deterioro de los alimentos, independientemente de su efecto sobre los microorganismos (ESPINO, 1995).

Dado que la velocidad de las reacciones bioquímicas depende de la temperatura, las temperaturas de almacenamiento más bajas retrasan el deterioro de los alimentos debido al daño bioquímico



y reducen el crecimiento de bacterias y mohos (BRENNAN, 1980).

Según CHEFTEL (2000), Cada tipo de bacteria solo puede crecer dentro de un cierto rango de temperatura y tiene una temperatura óptima para su crecimiento. Debido a esto, la temperatura de almacenamiento tiene un gran impacto en cómo pueden cambiar los alimentos.

En general, se distinguen tres grupos de microbios que afectan a los alimentos según la temperatura a la que se cultivan. Estos se muestran en la Tabla 9.

**Tabla 9 — Tolerancia a la temperatura del microorganismo**

Microorganismos	Temperatura de desarrollo °C		
	Mínima	Optima	Máxima
Psicrófilos	-15	10	+20 aproximado
Mesófilos	+5 a +10	+30 a +40	+50 aproximado
Termófilos	40	+50 a +55	+65 aproximado

Extraído de CHEFTEL (2000)

En cada grupo se encuentran especies para las cuales el carácter termófilo, mesófilo o psicrófilo es estricto y otras para los que es facultativo; asimismo los límites de temperatura son más o menos amplios; ciertos *Streptococcus* se desarrollan entre 0 y 30 °C.

Estos datos son suficientes, para confirmar que las posibles alteraciones bacterianas que pudieran presentarse van a variar según la temperatura de almacenamiento.

#### b) Humedad relativa

Un buen almacenamiento requiere un almacenamiento alejado de la humedad, el oxígeno atmosférico y la luz, que afectan la pigmentación y la oxidación (CASP, 1999).

El deterioro de los alimentos se ve afectado por una serie de factores ambientales, incluidos las temperaturas altas y bajas, así como otros factores que hacen que los alimentos se echen a perder

con el tiempo. El efecto destructivo será aún mayor cuando los alimentos estén expuestos a elementos en descomposición durante mucho tiempo (CASP, 1999).

La humedad ambiental está relacionada principalmente con el crecimiento de microorganismos en la superficie de los productos alimenticios; pero no debemos olvidar que varía con la temperatura y por otro lado tiende a establecer un equilibrio entre la humedad relativa del ambiente y la actividad hídrica del producto. Por tanto, es un factor que no puede considerarse independiente de los demás (CHEFTEL, 2000).

El contenido de humedad de almacenamiento debe ser igual al contenido de humedad de equilibrio del alimento (BRENNAN, 1980).

#### c) **Atmósfera Ambiente**

Además del vapor de agua, la flora de procesamiento de alimentos también pueden verse perturbada y atacada por otros gases en la atmósfera como el oxígeno, el nitrógeno y el dióxido de carbono. La presión parcial de oxígeno afecta el potencial redox de los alimentos. Sin embargo, la mayor barrera para el cambio en la flora es la potencia dietética, que generalmente se ve menos afectada por cambios moderados en la presión de oxígeno (CHEFTEL, 2000).

### **3.3.4 Propiedades funcionales de la harina de chuño**

Las propiedades funcionales dependen directamente de la proporción de amilosa y amilopectina. Puede depender de la variedad de papa, especie, composición, suelo, edad de la planta y otros factores (ARISTIZABAL, J., & SANCHEZ, T., 2007).

Las propiedades funcionales del almidón resultan de las propiedades físicas y químicas de los gránulos del almidón, tales como transparencia, solubilidad, absorción de agua, claridad, hinchamiento y gelatinización (LAJALO, F., & WENZEL, E., 2006).



### 3.3.4.1 Gelatinización del almidón

La temperatura de gelatinización está en el rango de 60 a 85 °C, dependiendo de una serie de factores. Contiene una fuente de almidón, cantidades relativas de amilosa y amilopectina y la humedad disponible para la hidratación (TESTER, 2004).

Durante el proceso hidrotérmico el agua se esparce a través de los gránulos de almidón hinchados y comienza a disolverse nuevamente. A medida que aumenta la temperatura, se retiene más agua, los granulo comienzan a hincharse y su volumen aumenta. Cuando la parte amorfa está completamente, la parte cristalina inicia un proceso similar, y la zona cristalina comienza a desaparecer (SANCHEZ, 2007).

**Tabla 10 — Temperatura de gelatinización y gel de algunos almidones**

Almidón	Temperatura de gelatinización (°C )	Propiedades del gel
Maíz	62-72	Gel opaco
Yuca	62-73	Claro cohesivo
Papa	58-64	Claro cohesivo
Trigo	59-64	Gel opaco
Arroz	68-78	Gel opaco

Extraído de BADUI (2013)

Este proceso se llama gelatinización y la temperatura a la que ocurre se llama temperatura de gelatinización. En general, la disolución, hinchamiento e hidratación de las moléculas de almidón y la pérdida de estructura de los gránulos se denominan colectivamente gelatinización. Para un conjunto de partículas, la temperatura de gelatinización varía en el rango de 5 a 10 °C. Estos cambios indican que las fracciones de partículas tienen un comportamiento de gelatinización diferente. La temperatura de gelatinización de algunos almidones reportados es: papa 55-66 °C, Trigo 52-63 °C, maíz (que contiene 25% de amilosa) 62-72 °C, arroz 66-77 °C y tapioca 61-71 °C.



#### **3.3.4.2 Índice de absorción de agua (IAA)**

La cantidad de agua absorbida por el almidón, dependerá del contenido de humedad del medio que lo rodea; el almidón absorbe agua hasta alcanzar el equilibrio con el medio circundante (proceso reversible); la absorción de agua provoca que el granulo presente un hinchamiento, incrementando el tamaño hasta un 10%. (SHINGH, 2003).

El índice de absorción de agua está relacionada con la fuente biológicas, el tamaño y la forma del granulo (LINDEBOOM, 2004).

#### **3.3.4.3 Índice de solubilidad en agua (ISA)**

Es esta propiedad refleja también la influencia del contenido de lípidos en el almidón; un almidón con menor contenido de lípidos será más soluble que aquel cuyo contenido es mayor debido a que los lípidos son insolubles en agua, los lípidos tienden a evitar la interacción entre moléculas del almidón con el agua y como consecuencia, a evitar o disminuir la solubilidad (YUAN, ZHAG, DAI, & YU., 2007).

#### **3.3.4.4 Poder de hinchamiento (PH)**

A medida que aumenta la temperatura, los gránulos de almidón se hinchan y revientan, liberando amilosa desde el interior hacia el exterior de los gránulos, creando una red tridimensional. Por lo tanto, el hinchamiento del almidón depende de su contenido en amilopectina, y la amilosa actúa como agente del hinchamiento. Remojar los gránulos en agua crea un poder de hinchamiento que no solo aumenta la temperatura, sino que también aumenta el volumen y reduce la cristalinidad. De lo contrario, la amilosa puede separarse y formar un gel. Cuanto mayor sea el contenido de amilosa, menor será la capacidad de hinchamiento y menor la fuerza del gel (SHINGH, 2003).

FANNY J. (2019), obtuvieron los siguientes valores en el estudio para caracterizar las propiedades funcionales del almidón total y cuantificación del almidón resistente de tunta y chuño:



- índice de absorción de agua (IAA), en la tunta  $7.11 \pm 0.91$  y en chuño  $8.00 \pm 1.32$ .
- índice de solubilidad en agua (ISA), en la tunta  $1.31 \pm 0.01$  y en chuño  $2.29 \pm 0.01$ .
- poder de hinchamiento (TG), en la tunta  $7.21 \pm 0.95$  y en chuño  $8.19 \pm 1.40$ .

**Los cálculos se realizarán utilizando las siguientes ecuaciones:**

$$ISA = \frac{A \times \left(\frac{B}{2.5}\right)}{C} \times 100$$

$$IAA = \frac{\text{peso del sedimento}}{\text{peso de la muestra seca}} \times 100$$

$$PH = \frac{\text{peso del sedimento}}{\text{peso de la muestra seca} - \text{peso de disueltos}}$$

**Donde:**

A: Sólidos disueltos en 2.5 mL de sobrenadante.

B: ml totales del sobrenadante.

C: Peso de la muestra seca.

### 3.3.5 Vida útil

La vida útil de un alimento indica el tiempo durante el cual el alimento permanece apto para el consumo humano desde el punto de vista de la higiene y las propiedades organolépticas y nutricionales donde aún supera los límites de calidad previamente definidos (QUIÑONES, 2015).

La vida útil depende de cuatro factores importantes: formulación, procesamiento, empaque y condiciones de almacenamiento.

La formulación involucra la selección de las materias primas e ingredientes funcionales más adecuados que sean aceptables y aseguren la integridad y seguridad y seguridad del producto (SERATO, 2013).

El procesamiento, expone los ingredientes de una preparación a condiciones que previenen o retrasan el deterioro y promueven cambios físicos y químicos beneficiosos que dan a los alimentos su forma y propiedades finales. Cuando el alimento sale de la etapa de procesamiento, conserva sus propiedades y el tiempo que el alimento retiene estas propiedades depende del medio ambiente y del empaque. Los parámetros más importantes son: composición del gas (oxígeno, dióxido de carbono, gases inertes, etileno), humedad relativa, presión mecánica, luz y temperatura. Estos parámetros dependen de las condiciones de envasado y almacenamiento (SERATO, 2013).

La vida del producto debe exceder el tiempo mínimo de distribución requerido antes de que llegue al consumidor, y el consumidor final, expone el producto a una vida útil razonable. Generalmente, el final de la vida útil del producto alimenticio se define como el tiempo en el cual las muestras almacenadas son percibidas como diferentes en alguna medida (DE LA CRUZ, 2009).

La calidad del producto seco está íntimamente relacionada con el contenido de humedad. Cuando se envasan estos productos, la actividad del agua en el envase suele ser muy baja. Luego, durante la distribución y el almacenamiento del producto, la penetración de moléculas de agua a través del empaque aumenta las moléculas de agua interna porque la actividad del agua dentro y fuera del envase es diferente. Esto aumenta el contenido de humedad del producto envasado y reduce su calidad (DEL NOBILE, 2003).

FELBER (1981), menciona que la adsorción de vapor de agua de la atmósfera por alimentos crujientes como galletas saladas, galletas dulces y bocadillos, es un problema grave. La humedad absorbida puede causar pérdida de fragilidad y reducir la calidad del producto. Por lo tanto, estos productos deben empaquetarse adecuadamente para evitar la absorción excesiva del exceso de humedad antes de que caduque el producto.

En general, los alimentos con una vida útil de menos de 14 días se consideran perecederos (almacenados adecuadamente) y están limitados por el deterioro bioquímico o microbiano. Los alimentos semiperecederos tienen una vida útil de hasta 6 meses, mientras que los alimentos más duraderos (no perecibles) como la mayoría de los alimentos enlatados, se pueden almacenar de 6 meses



a 3 3 años (o más) bajo condiciones adecuadas de almacenamiento (LABUZA, 2000).

### 3.3.5.1 Factores que afectan la calidad del tiempo de vida útil

La vida útil del producto depende de los componentes del sistema, el proceso de fabricación, el método de envasado, el tiempo y la humedad relativa durante el transporte y el almacenamiento. En general, estos factores se pueden dividir en factores internos y externos (DE LA CRUZ, 2009).

Un tipo específico de interacción muy útil el llamado “efecto barrera”, se produce cuando factores como la reducción de la temperatura, el tratamiento térmico, la acción antioxidante y el envasado en atmósfera controlada tienen como objetivo inhibir el crecimiento microbiano.

Al combinar la interacción de factores que por sí solos no pueden detener el crecimiento de microbiano, los fabricantes utilizan métodos de procesamiento cuidadosos para preservar mejor sus propiedades organolépticas y nutricionales. La interacción entre factores internos y externos pueden inhibir o estimular el proceso de fin de la vida útil (DE LA CRUZ, 2009).

**Los factores que tienen influencia sobre la vida útil de estos grupos de alimentos son:**

- **Factores de carácter intrínsecos:** Materia prima, mezcla y composición del alimento, proceso de elaboración, actividad del agua, humedad relativa, acidez y valor pH, disponibilidad de oxígeno y potencial rédox.
- **Factores de carácter extrínseco:** Elaboración, Higiene, Materiales y sistemas de envase, distribución, almacenamiento y presentación en el punto de venta.

La interacción de los factores intrínsecos y extrínsecos puede inhibir



o estimular un número de procesos que limitan la vida útil. Estos procesos están clasificados como:

- Microbiológicos
- Químicos
- Físicos
- Relacionados a la temperatura

Según DETHMERS (1979), el control de estos factores retrasa o previene los siguientes efectos: efecto bacteriano o enzimático, que crean sustancias no deseadas en el producto que no se suprimen mediante tratamiento térmico, baja actividad del agua o métodos químicos. Pérdida de calidad estética como color, sabor, aroma, textura y apariencia general.

Cambios físicos asociados con la evaporación del agua, que resultan en la formación de costras o superficie deshidratada. Las reacciones químicas como la oxidación, hidrólisis, la inversión de grasas, la oxidación de pigmentos y la desnaturalización de proteínas pueden causar cambios estructurales, pérdida de humedad absorbida, cambios en las propiedades funcionales, rancidez y oscurecimiento no enzimático. Pérdida de valor nutricional, como pérdida de vitaminas y desnaturalización de proteínas. Interacción entre producto y el envase.

**Tabla 11 — Actividad microbiana según su actividad de agua para diferentes tipos de alimento**

Actividad de agua ( $a_w$ )	Tipo de alimento	Géneros de microorganismos que crecen (muy lentamente a la mínima $a_w$ ) con esta $a_w$
0.95 – 1.00	Alimentos frescos como carnes ,panes, casi 40% de sacarosa, 8% de NaCl	<i>Pseudomonas</i> , <i>Escherichia</i> , <i>Proteus</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Clostridium</i> , <i>Shiguella</i> , <i>Klebsiella</i>
0.91 – 0.95	Quesos, carnes crudas (jamón), concentrado de jugo de fruta, 55% de sacarosa, 7% de NaCl	<i>Salmonella</i> , <i>Vibrio</i> , <i>Serratia</i> , <i>Lactobacillus</i> , <i>Rhodotorula</i>
0.87 – 0.91	Embutido duro fermentado, queso seco, margarina, 65% de sacarosa, 15% NaCl	<i>Muchas levaduras</i> – <i>Candida</i> , <i>Torulopsis</i> , <i>Hancenula</i> , <i>Micrococcus</i>
0.80 – 0.87	Concentrado comercial del jugo de fruta y arce, harina, torta de fruta, dulce de caramelo, torta con alta proporción de dulce	<i>Saccharomyces</i> , <i>Mycotoxigenicpenicilia</i> , <i>Staphylococcus aureus</i>
0.75 – 0.80	Conservantes de frutas y hortalizas, malvavisco, charqui de carne	<i>Bacterias halófilas</i> , <i>mycotoxigenic</i> , <i>Aspergillus sp</i>
0.65 – 0.75	Avenas enrolladas, dulces de turrón, pasas, conservantes de frutas, melazas, nueces, ciruela de pasas blandas	<i>Mohos Xecrofilicos</i> ( <i>Aspergillus candidus</i> , <i>A. chevalieri</i> )
0.60 – 0.65	Frutas deshidratadas (<20% de agua), confites, caramelos, miel	<i>Levadura osmofílicas</i> , <i>mohos Aspergillus echinulatus</i> , <i>Monascusbiporus</i>
0.50 – 0.60	Pasta (12% de agua), especias	No hay crecimiento microbiano
0.40 – 0.50	Polvo de huevo entero (5% de agua)	No hay crecimiento microbiano
0.30 – 0.40	Galletas dulces, galletas saladas, costras de pan (5% de agua)	No hay crecimiento microbiano
0.20 – 0.30	Leche entera en polvo, hortaliza deshidratada, cereales precocinados, galletas dulces duras	No hay crecimiento microbiano

Extraído de Vida útil de Alimentos. CALDERON (2005)



### 3.3.5.2 Alteración oxidativa o peroxidación de grasas

MAN Y JONES (1997), nos dice que un insumo común es la grasa, en consecuencia, la presencia de esta es uno de los factores limitantes con mayor influencia sobre la vida en anaquel debido a que están sujetas a deterioro por rancidez oxidativa o hidrolítica, que conducen a la formación de olores y sabores no deseables en los alimentos.

Los ácidos grasos no saturados, por consiguiente, la estructura química donde estos participan, son susceptibles a oxidarse en presencia de oxígeno molecular. Este proceso conocido como peroxidación o lipoperoxidación, pueden conducir a la destrucción de las moléculas de ácidos grasos y profundas alteraciones en los comportamientos físico y químico de las estructuras donde participan (VALENZUELA & ROJAS, 2006).

La lipoperoxidación de los alimentos con contenido graso, o de materias primas utilizadas en su formulación, es un problema, siempre vigente que afecta no solo el sabor de los alimentos, sino que también es un importante factor de toxicidad. La cinética de eventos moleculares en la peroxidación de un ácido graso insaturado, se caracteriza por presentar un periodo de inducción, cuya duración es dependiente del tipo de ácido graso; mientras más insaturado más corta es esta etapa ya que más inestables van a ser las moléculas de radicales libres formados en la estructura del ácido graso, luego se produce un brusco aumento en el consumo de oxígeno que posteriormente decae al producirse un aumento en la formación de hidroperóxidos y otros tales como: cetonas y aldehídos secundarios (VALENZUELA & ROJAS, 2006).

#### **Acidez en las harinas**

El análisis de acidez es un parámetro de suma importancia, que impide la proliferación de las bacterias, microorganismos y hongos en los alimentos, pos cosecha, (T;MEXICO VASQUEZ,S.C, 2016). Permite determinar la presencia de algunos ácidos minerales, ácidos orgánicos, sales de ácidos fuertes y bases débiles.



Se puede determinar de dos maneras: Por medio de la acidez soluble en alcohol neutro 96%, debido a la presencia de ácidos grasos libres relacionada con el grado de conservación de la harina en su composición y por medio de la acidez soluble en agua H<sub>2</sub>O, debido a la presencia de fosfatos ácidos, teniendo en cuenta el grado de extracción presente en la harina. (CÁTEDRA DE BROMATOLOGIA Y TECNICAS ALIMENTARIAS, 2015).

La acidez es la capacidad de una sustancia para aportar a una disolución acuosa iones de hidrogeno e hidrogeniones al medio, también la acidez es una medida de la cantidad de ácido presente en una muestra (FEDERICO, 1968).

### 3.3.5.3 Método del análisis de acidez

La acidez de algunos alimentos es un métodos más fácil de controlar la acidez, lo que permite demostrar la pureza de los alimentos ácidos (SILVA, 2008).

**Existen dos métodos de análisis de acidez titulable:**

#### 1. Acidez valorable total

La acidez se mide por el método volumétrico (titulación), utilizando el hidróxido de sodio NaOH para neutralizar los grupos ácidos en las harinas. El índice de acidez se expresa como un volumen de solución de hidróxido de sodio NaOH con normalidad de 0.1 N a 0.5 N, tomando 10 mL de la solución preparada de harina con unas gotas de fenolftaleína con pH de 8.3 a 10 (NEGRI, 2005).

#### 2. Acidez volátil

En este método, el ácido principal en el alimento es el ácido acético, que se determina por la acidez y luego la muestra se evapora con agua para obtener acidez fija al final del proceso, que se puede demostrar de la siguiente manera (SILVA, 2008).



#### **3.3.5.4 Humedad**

Es una variable física definida formalmente como la cantidad de agua presente o absorbida en un sólido. Se puede expresar tanto en base húmeda como seca (BARRIOS, 1989).

La evaluación de esta variable permite, determinar la estabilidad del almidón en el tiempo. El contenido de humedad es un factor que depende tanto de la materia prima como del método de obtención y las condiciones del proceso de deshidratación. Un contenido de humedad menor al 10% resulta conveniente para evitar el deterioro de los almidones durante su almacenamiento.

#### **3.3.5.5 Vida útil de alimentos empacados**

Las propiedades del empaque que pueden influir significativamente en varios factores externos y por tanto afecta indirectamente la velocidad de las reacciones de descomposición. Por lo tanto, la vida útil de un producto alimenticio puede modificarse cambiando: los ingredientes, la composición, los parámetros de procesamiento, el sistemas de envasado o el entorno en que está expuesto (VIDAURRE, 2015).

El deterioro de los alimentos envasados suele estar estrechamente relacionada con la transferencia de calor y masa a través del envasado. Los alimentos envasados no sólo pierden o ganan humedad, sino que también reflejan la temperatura ambiente, ya que algunos envases de alimentos son buenos aislantes. Por lo tanto, las condiciones climáticas del almacenamiento y distribución (temperatura y humedad) juegan un papel importante en la tasa de deterioro de los alimentos envasados (VIDAURRE, 2015).

#### **3.3.5.6 Rol del envase en la ampliación del tiempo de vida útil de los alimentos**

Una de las funciones del embalaje es proteger el contenido del medio exterior, ya sea: agua, vapor de agua, gas, olores, microorganismos, polvo, golpes, vibraciones, las fuerzas de presión.



Para muchos alimentos, la protección proporcionada por el empaque es una parte importante del proceso de conservación.

La degradación de los alimentos envasados depende en gran medida de la transferencia que puede ocurrir entre el entorno externo e interno del paquete; por ejemplo, puede ocurrir la transferencia de humedad del ambiente a un producto seco o la transferencia de un olor indeseable a un producto con alto contenido en grasa, o se puede desarrollar rancidez oxidativa si el paquete no tiene una barrera de oxígeno efectiva puede haber problemas de migración de compuestos químicos del envase al alimento. Además de la capacidad de los materiales de empaque para proteger y conservar los alimentos al reducir este movimiento, los materiales de empaque también deben proteger el producto contra daños mecánicos y reducir el mal uso por los consumidores (incluida la manipulación) (J., 2013).

#### **3.3.5.7 Permeabilidad al vapor de agua y tiempo de vida útil**

El principio básico de los alimentos envasados es mantener su estado original después del envasado evitando la ganancia o pérdida de humedad. El contenido crítico de humedad de un material alimentario se utiliza a menudo para determinar la ganancia o pérdida de humedad máxima permitida a partir del contenido de humedad inicial del alimento (SALAS, 2006).

La propiedad más importante de los envases es la permeabilidad. La permeabilidad es el fenómeno de la transferencia de gas o vapor a través de una película, y este concepto a menudo se asocia con la evaluación cuantitativa de las propiedades de barrera de un material.

#### **3.3.5.8 Tipos de empaques usados en la industria alimentaria**

en la industria alimentaría se utilizan diversos tipos de envases, los cuales están fabricados con diferentes materiales poliméricos o una mezclas de varios de ellos.

El polietileno es un envase flexible y transparente que tiene las siguientes funciones: protege el producto de los efectos del oxígeno y humedad del producto, conservando el aroma del producto, le da estabilidad al producto, resistencia a factores químicos y atmosféricos

y capacidad de radiación, resistencia a la tracción y desgarro, fácil de abrir y cerrar, reutilizable; bajo costo del contenedor transporte y almacenamiento higiénico (ALVAREZ, 2006).

El resto del embalaje está fabricado en polipropileno orientado, que es de color blanco y opaco. Por su hermeticidad se utiliza en los mercados de galletas, alimentos y confitería, debido a que el polietileno es hermético y biaxialmente orientado, tiene la densidad más baja de todas las películas comerciales, tiene buena resistencia a las grasas, no soporta condiciones climáticas extremas, cambiar la protección del rendimiento.

También hay otro tipo de empaque, como el film laminado, que es una mezcla de dos a más films con pegamento, que requiere más tecnología y es más costoso, por ejemplo: diferentes materiales como poliéster, PP y lámina de aluminio poliamida, BOPP, poliamida, alcohol polivinilo y polietileno modificado (VIDALES, 2000).

#### **a) Polietileno de Baja Densidad (LDPE)**

El polietileno de baja densidad tiene una estructura semicristalina ramificada y es un material termoplástico obtenido por un proceso de polimerización por radicales libres en condiciones de alta presión y alta temperatura. El LDPE tiene un bajo grado de cristalinidad, entre 40 a 60%, por lo tanto una densidad baja, entre 0.91 a 0.94 g/cc.

El LDPE es versátil y adecuado para toda las formas de conversión, extrusión por inyección, etc.; esta es su mayor aplicación y la más utilizada en la producción de películas para empaques, bolsas, fundas.

El LDPE se caracteriza por una excelente flexibilidad, buena resistencia al impacto, maquinabilidad, resistencia al aceite, resistencia química y permeabilidad al vapor de agua relativamente baja. Es muy inerte químicamente y casi inodoro o insípido.

Una de sus principales ventajas es el la termosellado fácil y el bajo (QUINTANA, 2007).

**Tabla 12 — Propiedades del Polietileno de baja densidad (LDPE)**

Densidad	0.910-0.925 g/cm <sup>3</sup>
Temperatura gelatinización	-120 °C
Temperatura fusión	105 - 115 °C
Módulo de tensión	172 – 517 MPa
Elongación	100-965%
Resistencia al rasgado	200-300g/25 um
WVTR	375-500 gum/m <sup>2</sup> , 37.8 °C, 90% HR
Permeabilidad 24 °C	3.25e-07-6.50E-07 gm/m <sup>2</sup> día Pa
Absorción de agua	0.01%

Extraído de QUINTANA (2007)

**b) Polietileno de Alta Densidad (HDPE)**

El polietileno de alta densidad es un termoplástico no polar. Tiene una densidad es de 0.940 a 0.965 g/cc, y un punto de fusión entre 128 a 138 °C. Es uno de los polímeros más utilizados en plásticos. En su estado natural, la película es transparente, pero no completamente transparente, tiene un aspecto ceroso, que al igual que las películas anteriores, varía según la calidad y el espesor (medida) (RIGAPLAST, 2010).

**Tabla 13 — Propiedades del Polietileno de Alta Densidad (HDPE)**

Densidad	0.940 - 0.965 g/cm <sup>3</sup>
Temperatura gelatinización	-120°C
Tfusion	128 – 138 °C
Módulo de tensión	620 – 1089 MPa
Elongación	10 - 1200%
Resistencia al rasgado	20 - 60g/25 um
WVTR	125 gum/m <sup>2</sup> , 37.8°C, 90% HR
Permeabilidad 24°C	9.76E-07- 1.95E-07gm/m <sup>2</sup> día Pa
Absorción de agua	0.01%

Extraído de QUINTANA (2007)

### 3.3.5.9 Estudio acelerado de vida de útil

Las pruebas de alimentos generalmente involucran una variedad, de estudios de estabilidad, algunos de los cuales se enfocan en la tasa de deterioro de la calidad y otros cuanto tiempo un producto en dejar de ser apto para el consumo humano. Dependiendo del tipo de alimento que se esté analizando, se deben considerar ciertos criterios de deterioro. Los métodos acelerados para determinar la vida de útil de los alimentos se basa en la aplicación de los principios cinéticos químicos al efecto que las condiciones ambientales como la temperatura, la presión, la humedad, los gases atmosféricos y la luz, sobre las velocidades de la reacción (DIAZ, 2016).

Modelar un estudio de durabilidad no es fácil porque hay muchas variables y no siempre se pueden controlar como se desea. La investigación de almacenamiento acelerado explica los cambios extremos que pueden ocurrir en los alimentos. Son importantes para decidir que variables estudiar y con qué frecuencia realizar las pruebas (DE LA CRUZ, 2009).

## **CAPÍTULO IV METODOLOGÍA**

### **4.1 Tipo y nivel de investigación**

El desarrollo del presente trabajo de investigación es de tipo aplicada.

Con la finalidad de proponer bases de conocimiento para contar con una alternativa en el mercado de la harina de chuño blanco, con un nivel de investigación experimental donde se manipulan las variables independientes; la aplicación de distintos tratamientos (tiempo y temperatura) para la determinación de parámetros adecuados de almacenamiento de un producto apto para su comercialización.

### **4.2 Diseño de la investigación**

En la investigación se utilizó el diseño experimental que se muestra en las Tablas 14, 15 y 16. Los experimentos fueron desarrollados en los Laboratorios de la Escuela Académica de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac y fueron desarrollados en cuatro etapas: etapa I; obtención de la harina de chuño blanco y tamizada en una malla tamiz de malla 80 con abertura máxima de 0.180 mm, realizado en el Laboratorio de Análisis de Productos Agroindustriales, etapa II; isoterma de adsorción en los Laboratorios de Análisis de productos Agroindustriales, Laboratorio de Química General y Laboratorio de Química Orgánica, etapa III; determinación de propiedades funcionales y etapa IV; determinación de vida útil de la harina de chuño blanco en los Laboratorios Análisis de productos Agroindustriales, Laboratorio de Química General y Laboratorio de Química.



#### 4.2.1 Diseño de la investigación para isoterma de adsorción

En esta investigación experimental se tiene como factores a la actividad de agua de las soluciones salinas y como bloque a las temperaturas, se utilizó el diseño de bloques completamente al azar (DBCA), con un nivel del 95% de confianza, esta prueba se realizó con 3 repeticiones, 12 tratamientos y con 36 observaciones el cual se muestra en la siguiente Tabla 14.

**Tabla 14 — Diseño de investigación para isoterma de adsorción**

Tiempo	Temperatura de isoterma de adsorción	Soluciones salinas Saturadas	$a_w$	Repeticiones
12 días	15 °C	LiCl	0.113	3
		KC <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub>	0.234	3
		MgCl <sub>2</sub>	0.333	3
		K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0.432	3
	25 °C	LiCl	0.1142	3
		KC <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub>	0.2367	3
		MgCl <sub>2</sub>	0.3287	3
		K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0.4432	3
	35 °C	LiCl	0.1081	3
		KC <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub>	0.2155	3
		MgCl <sub>2</sub>	0.3180	3
		K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0.4363	3
Total				36 observaciones

#### 4.2.2 Diseño de investigación para propiedades funcionales

En esta investigación experimental se tiene como factor a las temperaturas y como bloque se tiene al tiempo, se utilizó el diseño de bloques completamente al azar (DBCA), con un nivel del 95% de confianza, esta prueba se realizó con 3 repeticiones, 9 tratamientos con 27 observaciones para la temperatura de gelatinización y 4 repeticiones, 1 tratamiento y 4 observaciones el cual se muestra en la siguiente Tabla 15.

**Tabla 15 — Diseño de investigación para propiedades funcionales**

Tiempo	Temperatura de gelatinización (TG)	Repeticiones
1 min.	70 °C	3
	75 °C	3
	80 °C	3
3 min.	70 °C	3
	75 °C	3
	80 °C	3
5 min.	70 °C	3
	75 °C	3
	80 °C	3
Tiempo	Temperatura de ISA, IAA y PH	Repeticiones
30 min.	30 °C	4

#### 4.2.3 Diseño de investigación para vida útil

En esta investigación experimental se tiene como factores al tiempo y como bloque a las temperaturas se utilizó el diseño de bloques completamente al azar (DBCA), con un nivel del 95% de confianza, esta prueba se realizó con 4 repeticiones, 3 tratamientos y con 12 observaciones el cual se muestra en la siguiente Tabla 16.

**Tabla 16 — Diseño de investigación para vida útil (días)**

Tiempo de tratamiento	Temperatura de vida útil	Producto	Evaluación de parámetros	Repeticiones
28 días	30 °C	Harina de chuño blanco	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Acidez</li> <li>➤ Humedad</li> </ul>	4
	40 °C	Harina de chuño blanco		4
	50 °C	Harina de chuño blanco		4
Total				12 observaciones

### 4.3 Población y muestra

El trabajo de investigación estudio de harina de chuño blanco fue 10 kg, proveniente de la provincia de Antabamba, Comunidad Mollocco del paraje denominado Palcca, Región Apurímac.

La muestra que se tomó para el estudio de isoterma de adsorción fue de 2 kg, para el análisis de propiedades funcionales fue de 1 kg y para el análisis de vida útil fue de 7 kg para realizar los tratamientos respectivos a la harina de chuño blanco.

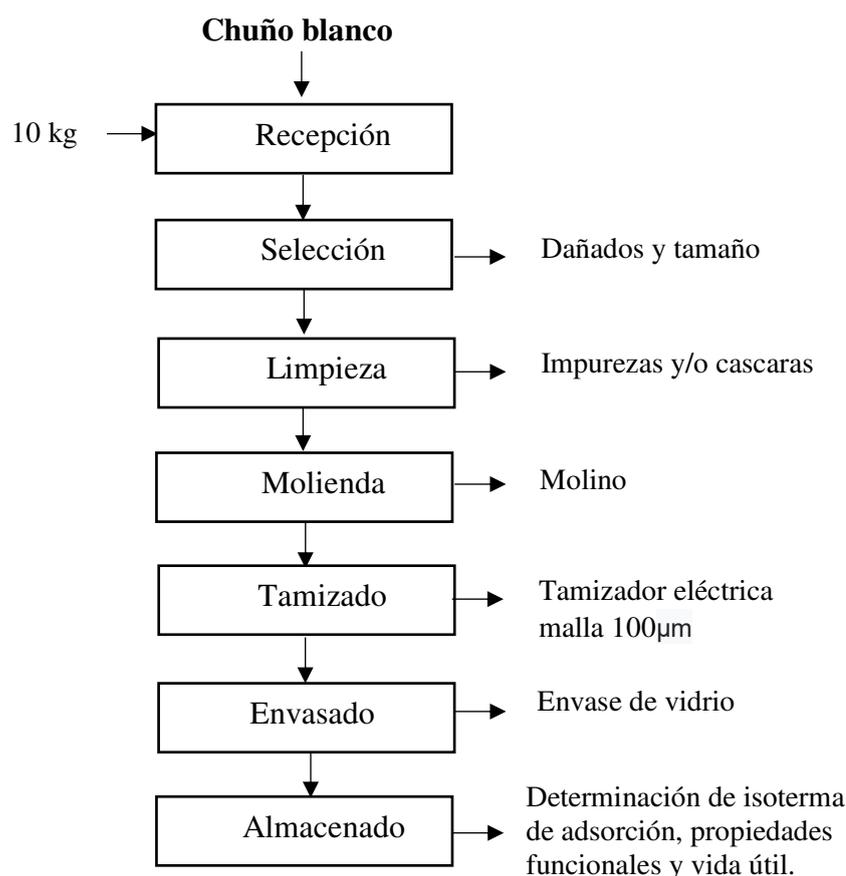
### 4.4 Procedimiento

#### **Obtención de harina de chuño blanco (*Solanum tuberosum*), para la determinación de isoterma de adsorción, propiedades funcionales y vida útil.**

La obtención de la harina de chuño blanco se realizó tomando como referencia el método con algunas modificaciones descrito por (JIMÉNEZ, 2011).

- a. Materia prima:** El chuño blanco empleado para la investigación fue tomada de la Provincia de Antabamba, Distrito de Antabamba de la Comunidad de Mollocco y paraje denominado Palcca a 15 km del distrito de Antabamba.
- b. Selección:** La selección incluye la eliminación de productos que no son aptos para las condiciones del proceso, como chuños con daño mecánico, inicio de deterioro, de manera que solo se procesen chuños sanos (para la obtención de harina de chuño).
- c. Limpieza:** La limpieza se realizó de forma manual con el debido cuidado e higiene, para eliminar la piel u otras impurezas del chuño
- d. Molienda:** El molido y pulverizado del chuño. Se realizó en un molino de cuchillas (Retsch), teniendo una granulometría fina.
- e. Tamizado:** El tamizado de la harina de chuño se realizó sobre un tamiz de malla 100 micras.
- f. Almacenado:** La muestra seca de harina de chuño, se almaceno en frascos de vidrio, sellados herméticamente, luego se colocó a una temperatura ambiente, para luego determinar las isotermas de adsorción, propiedades funcionales y vida útil.





**Figura 8 — Diagrama de Flujo cualitativo para obtención de la harina de chuño blanco**

Extraído de JIMÉNEZ (2011)

## 4.5 Técnicas e instrumentos

### 4.5.1 Determinación de isoterma de adsorción

La determinación de isoterma de adsorción se basó en el método estático gravimétrico o método de control continuo de cambios de peso, descrito por (LABUZA, 1985).

Las humedades relativas fueron obtenidas con soluciones salinas saturadas que cubren un rango de actividad de agua ( $a_w$ ) de 0.11 a 0.44, que pueden ser calculadas a través de las ecuaciones de regresión, determinadas por (LABUZA et al., 1985), citado por (PERALTA, 2014).

Las sales utilizadas con sus respectivas actividades de agua (humedades relativas) y las ecuaciones de regresión son mostradas en las Tablas 17 y 18 respectivamente.

**Tabla 17 — Variación de las humedades relativas de equilibrio (%) en función de las tres temperaturas utilizadas en el experimento**

Nomenclatura	Sal	Humedad relativa (%)		
		15 °C	25 °C	35 °C
Cloruro de litio	(LiCl)	11.30	11.42	10.81
Acetato de potasio	(KC <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub> )	23.40	23.67	21.55
Cloruro de magnesio	(MgCl <sub>2</sub> )	33.30	32.87	31.80
Carbonato de potasio	(K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	44.20	44.32	43.63

Extraído de LABUZA et al., (1985), citado por PERALTA (2014)

Las isotermas de adsorción fueron determinadas a las temperaturas de 15 °C, 25 °C, y 35 °C, con el fin de conseguir las humedades de equilibrio de las muestras para cada una de las temperaturas.

Se acondicionaron 36 frascos de vidrio de 200 mL de capacidad con tapa hermética, en cada uno de los frascos se colocó internamente un trípode de acero inoxidable que sirvió de soporte para los recipientes de plástico (chapitas de botella de gaseosa) donde fueron colocadas las muestras. Primeramente, los frascos de vidrio y los potes de plástico fueron limpiados con alcohol etílico de 96 °C y posteriormente esterilizados a 150 °C por dos horas, a fin de evitar posibles contaminaciones y el desarrollo de microbiano en las muestras, especialmente el enmohecimiento.

Las soluciones salinas saturadas fueron preparadas de acuerdo a las cantidades de sal (g) y agua (mL) recomendados por (DIAZ, 2002). citado por (Pulla HUILLCA PALMER, 2011), el cual se muestra en la Tabla 18.

**Tabla 18 — Cantidad de sal y agua recomendadas para la preparación de soluciones salinas saturadas**

Nomenclatura	Sal	Cantidad de preparación	
		Sal (g)	Agua (mL)
Cloruro de litio	(LiCl)	150	85
Acetato de potasio	(KC <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub> )	200	65
Cloruro de magnesio	(MgCl <sub>2</sub> )	200	25
Carbonato de potasio	(K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	200	90

Extraído de DÍAZ (2002)

Posteriormente en cada frasco de vidrio fue colocado un tipo de solución salina saturada, seguidamente se introdujeron los trípodes de acero inoxidable que sirvieron para sostener a los potes de plástico con las muestras. Se pesaron por triplicado muestras de cerca de 1 g de harina de chuño blanco en los recipientes de plástico (tapas de botellas), para luego ser introducidas en los frascos de vidrio los cuales se cerraron herméticamente y se colocaron en una estufa a las temperaturas de 15 °C, 25 °C y 35 °C respectivamente.

Las muestras fueron pesadas periódicamente cada 4 días en una balanza analítica hasta que presenten un peso constante, momento en el cual alcanzan el equilibrio con su ambiente, que se considera cuando la diferencia entre dos pesadas consecutivas fuese igual o inferior a 0.001 g tal como lo recomienda (GABAS, 2009).



#### 4.5.1.1 Determinación de humedad de equilibrio ( $X_e$ )

La humedad de equilibrio fue determinada por la diferencia entre la masa de la muestra en equilibrio y su masa seca, tal como lo describe (FIORENTIN, 2010).

Mediante la siguiente ecuación:

$$X_e = \frac{meq - ms}{ms}$$

**Donde:**

$X_e$ : Humedad de equilibrio (g.H<sub>2</sub>O/g.m.s.)

meq: Masa de la muestra en el equilibrio (g)

ms: Masa de la muestra seca (g)



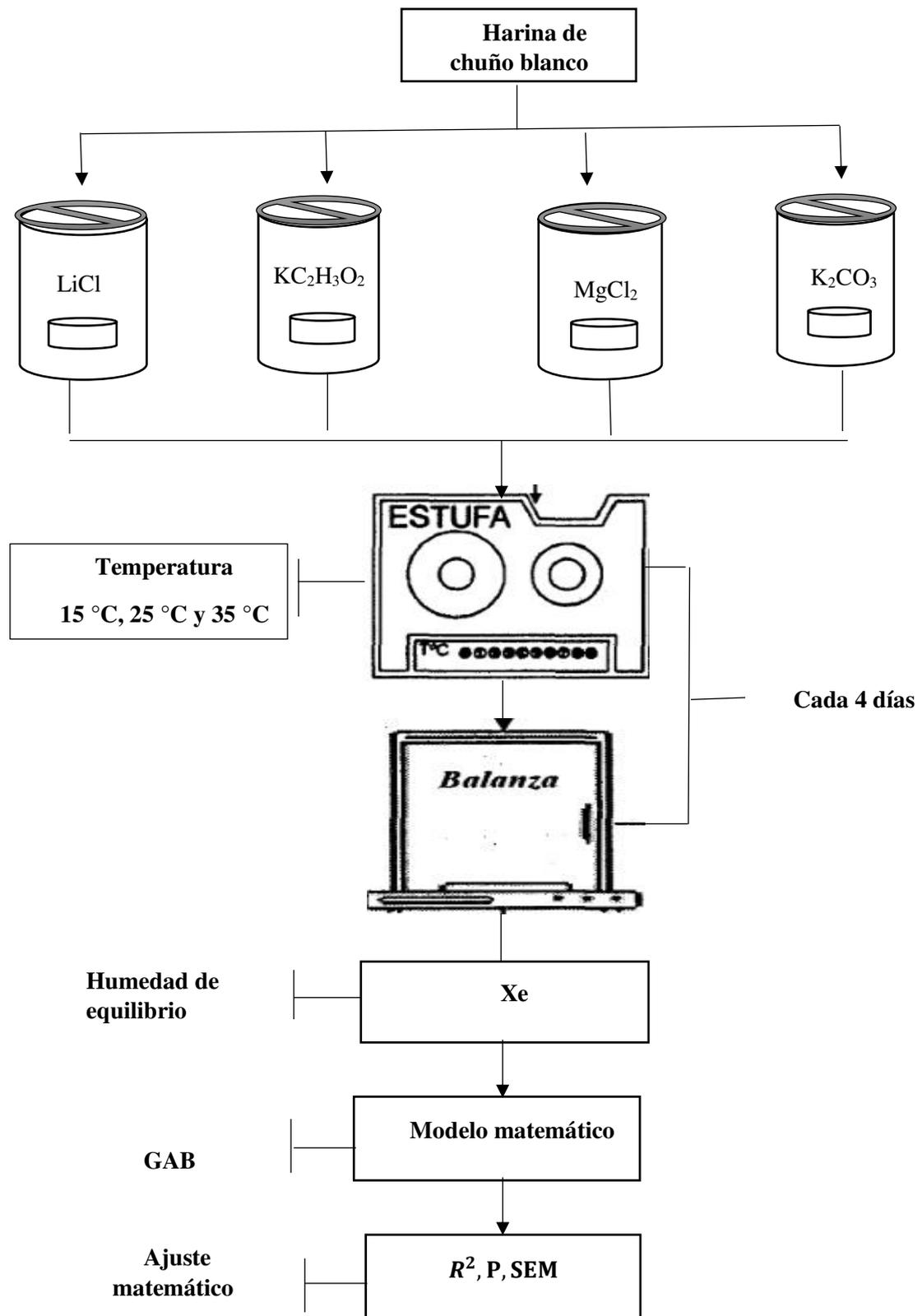


Figura 9 — Diagrama de flujo para determinación de isoterma de adsorción

#### 4.5.2 Determinación de las propiedades funcionales

La determinación de las propiedades funcionales se realizó mediante cuatro fases que se describen a continuación:

##### 4.5.2.1 Determinación de temperatura de gelatinización (TG):

La temperatura de gelatinización se desarrolló tomando como referencia con algunas modificaciones el método descrito por GRACE (1977).

##### **Procedimiento:**

- Se pesó 5 g de harina en base seca, el cual se disolvió con agua destilada hasta 50 mL de volumen en un vaso de precipitado de 100 mL de volumen.
- Después se calentó agua en un vaso de precipitado de 250 mL a 75, 80 y 85 °C.
- Se tomó 50 ml de la suspensión en un vaso de precipitado de 100 mL.
- Luego se introdujo el vaso de precipitado con la muestra en el agua a 75, 80 y 85 °C.
- Se agitó con el termómetro constantemente la suspensión de almidón hasta que se forma una pasta y la temperatura permanezca estable por unos segundos, por último, se procedió a la lectura de la temperatura de gelatinización.

##### 4.5.2.2 Determinación del índice de solubilidad en agua (ISA), índice de absorción de agua (IAA) y poder de hinchamiento (PH)

Estas características fueron determinadas por triplicado, usando el método reportado por ANDERSON (1982), que permite cuantificar la cantidad de agua incorporada a la muestra y el porcentaje de sólidos solubles disueltos en agua a 30 °C; modificado para esta investigación.



**Procedimiento:**

- Se pesaron 0.625 g de harina en base seca en tubos de ensayo, luego se agregó 10 mL de agua destilada.
- Posteriormente, los tubos se colocaron en baño maría a 30 °C por 30 min, después de centrifugaron a una velocidad de 3000 rpm durante media hora.
- **Determinación del índice de solubilidad en agua (ISA):**
  - De la solución anterior se tomaron 2.5 mL del sobrenadante de cada tubo y se transfirieron a placas Petri previamente pesadas.
  - Las muestras se colocaron en una estufa a 105 °C hasta evaporar todo el líquido.
  - El resto del sobrenadante de cada tubo se midió para obtener el volumen del líquido total.

$$ISA = \frac{A \times \left(\frac{B}{2.5}\right)}{C} \times 100$$

**Dónde:**

A: solidos disueltos en 2.5 mL de sobrenadante.

B: ml totales del sobrenadante.

C: peso de la muestra seca.

- **Determinación del índice de absorción de agua (IAA):**
  - Se pesó el tubo con la muestra de almidón húmedo.
  - Por diferencia se obtuvo el peso del sedimento.
  - El IAA se expresó mediante la siguiente ecuación.

$$IAA = \frac{\text{peso del sedimento}}{\text{peso de la muestra seca}}$$

- **Determinación del poder de hinchamiento (PH):**

$$PH = \frac{\text{peso del sedimento}}{\text{peso de la muestra seca} - \text{peso de disueltos}}$$

### 4.5.3 Determinación de las propiedades fisicoquímicas

#### 4.5.3.1 Determinación de la humedad

La determinación de humedad (A.O.A.C., 1997), se considera como la pérdida de masa que sufre un material cuando se calienta a temperatura cercana al punto de ebullición del agua, durante un tiempo seleccionado o bien hasta que dos pesadas sucesivas no difieren en más de 3 g.

##### **Procedimiento:**

- Se pesó 2 g de harina de chuño en placas Petri de vidrio previamente tarada.
- Se dejó secar en la estufa a 100 °C durante 2 horas.
- Se dejó enfriar en un desecador aproximadamente 30 minutos; y luego se pesó el residuo.

##### **Cálculos:**

$$\% \text{ HUMEDAD} = \frac{PT - PF}{MUESTRAS} \times 100$$

##### **Donde:**

PT: Peso de placa Petri vacía más muestra húmeda.

PF: peso final después de secado en estufa

M: gramos de muestra.

#### 4.5.3.2 Determinación del contenido de grasa

Se utilizó metodología de la (A.O.A.C., 1997).

##### **Procedimiento:**

El contenido de grasa de un alimento es la fracción de este, extraíble



en éter de petróleo en condiciones determinadas. La extracción se realizó a partir de 2 g de muestra en un equipo Soxhlet de la marca Foss (modelo ST243 Soxtec™ de Labtec™ line).

El porcentaje de grasa bruta sobre sustancia seca se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ grasa} = \frac{P_1 - P_2}{P_0} \times 100$$

**Donde:**

P<sub>0</sub>: es el peso de la muestra inicial.

P<sub>1</sub>: es el peso del recipiente con el extracto etéreo.

P<sub>2</sub>: es el peso del recipiente vacío.

#### 4.5.3.3 Determinación de acidez

Se utilizó metodología de la (A.O.A.C., 1997).

##### **Procedimiento**

- Preparar NaOH 0.1 N.
- Para preparar esta solución de NaOH, se hizo los cálculos necesarios. Se preparó para 100 mL para lo cual se utilizó 0.4 g de hidróxido de sodio.
- Se llenó una bureta con una solución de Hidróxido de Sodio 0.1 N, previamente preparada.
- Se pesó 18 g de harina al cual se le añadió 200 mL de agua destilada, y se agitó. Se colocó en baño maría de 50 °C por un espacio de 45 minutos. Una vez pasado este tiempo se le agregó 50 ml de agua destilada; y se procedió al filtrado con ayuda de una tela.
- Se filtró a dos matraces conteniendo cada uno 100 mL. Y al que sobre se le añadió agua destilada para ver las variaciones en los gastos y por ende de la acidez.
- Se le adiciono 2 a 3 gotas de fenolftaleína a 1% como indicador.
- Se adiciono gota a gota la solución de NaOH, al mismo

tiempo agitando lentamente el matraz con la muestra, hasta que la solución muestra se torne color rosa.

- Se tomó la lectura en la bureta (el gasto) y se calculó la cantidad de hidróxido de Sodio gastado para neutralizar la acidez de la muestra.
- La acidez del producto se expresa como el porcentaje de ácido sulfúrico

$$\% \text{ de acidez} = \frac{\text{Gasto de NaOH} \times N \times F \times \text{mili-eq. del ácido}}{\text{peso de la muestra}} \times 100$$

#### 4.5.4 Determinación de vida útil por el método acelerado

##### 4.5.4.1 Obtención de las muestras

PEREIRA (2017), menciona el acondicionamiento de la muestra. Consistió en el secado de la harina de chuño blanco de 500 g el cual se realizó en una estufa con circulación de aire, a una temperatura de 105 °C durante 2 horas.

##### 4.5.4.2 Rotulado de las muestras

Las muestras fueron rotuladas de la siguiente manera:

Temperaturas de Almacenamiento (°C):	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C
Rotulado	: A	B	C	D
Muestras	: A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>
	A <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	D <sub>2</sub>
	A <sub>3</sub>	B <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	D <sub>3</sub>
	A <sub>4</sub>	B <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>	D <sub>4</sub>

##### 4.5.4.3 Almacenamiento de las muestras

Las 12 unidades fueron almacenadas en 3 estufas y 4 unidades a temperatura ambiente equitativamente, las temperaturas fueron 20 °C, 30 °C, 40 °C y 50 °C. En las estufas de 30, 40 y 50 °C. Se colocaron 4 muestras, en cada una de las 3 estufas y 4 muestras a temperatura ambiente.

#### 4.5.4.4 Determinación del orden y constantes de reacción de acidez y su dependencia con la temperatura.

Todas las muestras estuvieron se almacenaron a temperatura constante. Para hallar el orden de reacción se evaluaron durante 4 semanas en estufas a 30, 40 y 50 °C. Se determinó el orden de reacción de la formación de acidez para cada temperatura acelerada utilizando el indicador estadístico  $R^2$  (coeficiente de determinación). Con el orden de reacción establecido se procedió a determinar las constantes de velocidad de formación de acidez a las temperaturas de 30, 40 y 50 °C.

Se evaluó la influencia de la temperatura sobre la constante de velocidad de reacción utilizando la ecuación de Arrhenius, (VIDAURRE, 2013).

Esta ecuación se trata de un modelo lineal que expresa el efecto de la temperatura sobre la constante de velocidad (k) de diferentes reacciones en muchos sistemas alimentarios y se representa de la siguiente manera:

$$k = k_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right)$$

**Donde:**

K: Constante de velocidad de la reacción

Ko: Constante de la ecuación de Arrhenius

Ea: Energía de activación que se necesita para vencer la degradación de productos

R: Constante de los gases (1987 cal/K mol)

T: Temperatura absoluta en Kelvin (K)



#### 4.5.4.5 Determinación de la ganancia de humedad en el conjunto alimento-empaque

Se evaluó la ganancia de humedad de las muestras durante 30 días. Las muestras de 25 g. Fueron acondicionadas en una estufa que se mantuvo a las temperaturas constantes de 30, 40 y 50 °C, con fuentes de agua con la finalidad de saturar el ambiente.

#### 4.6 Análisis estadístico

Para medir el efecto del tiempo y temperatura de isoterma de adsorción, propiedades funcionales y la vida útil, se utilizó el diseño completamente aleatorizado (DBCA):

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon$$

**Donde:**

$y_{ijk}$ , son las observaciones para las variables de respuesta;  $\mu$ , la media general;  $\alpha_i$ , efectos de diferentes tratamientos;  $\beta_j$ , bloques y  $\varepsilon$ , error experimental.

Los datos fueron expresados como el promedio  $\pm$  desviación estándar (DE), numero repeticiones (n=3). La diferencia entre tratamientos se determinó por el análisis de varianza (ANOVA) y la comparación múltiple de medias de Tukey (estadísticamente significativos:  $P < 0.05$ ), con el programa R studio versión 4.1.2.

## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 5.1 Análisis de resultados

##### a. Análisis preliminar de la harina de chuño blanco

**Tabla 19 — Propiedades fisicoquímicas de la harina de chuño**

Harina de chuño	(%)
Grasa total	0.3141 ± 0.0260
Humedad	12.6529 ± 0.1243
Acidez total	0.2 ± 0.0034

Se realizaron análisis fisicoquímicos preliminares que nos permitió caracterizar las isotermas de adsorción y el tiempo de vida útil.

Estos análisis son el contenido de grasa total determinado mediante el método de soxhlet con resultados que se muestran en la Tabla 19, este resultado permite seleccionar las variables necesarias para la determinación del tiempo de vida útil.

El contenido de humedad de la materia prima nos permitió expresar los resultados en base seca y evaluar los parámetros de la isoterma de adsorción.

##### b. Determinación del contenido de humedad de equilibrio ( $X_e$ ) a través del modelo GAB de la harina de chuño blanco

**Tabla 20 — Datos experimentales de humedad de equilibrio,  $X_e$  (g.H<sub>2</sub>O/g.m.s.) de las muestras de la harina de chuño blanco en función de la actividad de agua ( $a_w$ ) a diferentes temperaturas**

15 °C							
Soluciones Salinas	$a_w$	$X_e$	$a_w/X_e$	$(a_w)^2$	A	B	C
LiCl	0.1130	0.2117 ± 0.0891 <sup>b</sup>	0.5339	0.0128	2.8625	2.2438	0.2389
KC <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub>	0.2340	0.2591 ± 0.1054 <sup>ab</sup>	0.9032	0.0548	2.8625	2.2438	0.2389
MgCl <sub>2</sub>	0.3330	0.2518 ± 0.1054 <sup>a</sup>	1.3227	0.1109	2.8625	2.2438	0.2389
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0.4320	0.2489 ± 0.0966 <sup>a</sup>	1.7358	0.1866	2.8625	2.2438	0.2389

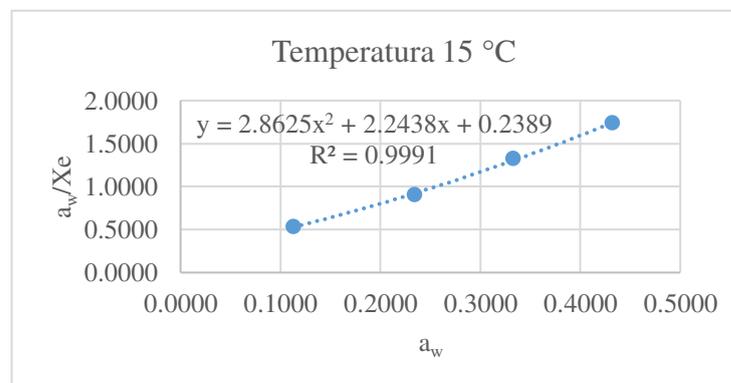
Promedio ± desviación estándar (n=3).

Superíndices con diferentes letras dentro de una columna indican diferencias significativas (p<0.05).

$X_e$ , humedad de equilibrio;  $a_w$ , actividad de agua de las soluciones salinas; **ABC**, constantes de la ecuación de GAB.

La Tabla 20 muestra la harina de chuño blanco donde alcanza la humedad de equilibrio ( $X_e$ ) a los 12 días en promedio los resultados.

Muestra también que la harina de chuño blanco aumento la cantidad de humedad de equilibrio a comparación con las otras soluciones salinas de 0.2117 g.H<sub>2</sub>O/g.m.s. hasta 0.2489 g.H<sub>2</sub>O/g.m.s., mostrando diferencias significativas con respecto a la humedad de equilibrio con un nivel de 95% de confianza, por lo tanto se puede decir si existe diferencias significativas de las soluciones salinas con respecto al contenido de humedad de equilibrio, para lo cual son comprobados estadísticamente ver anexo 1.



**Figura 10 — Se muestra la gráfica polinómica a 15 °C, los datos fueron tomados de la Tabla 20 y llevados a Excel para luego obtener los parámetros de adsorción**

En la Figura 10 se aprecia que, para la temperatura de 15 °C, sucede un incremento de humedad de equilibrio ( $X_e$ ) para la humedad relativa correspondiente a las soluciones salinas de LiCl, KC<sub>2</sub>H<sub>3</sub>O<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub>, mientras que para la sal K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, sucede una disminución de humedad de equilibrio.



**Tabla 21 — Datos experimentales de humedad de equilibrio,  $X_e$  (g.H<sub>2</sub>O/g.m.s.) de las muestras de la harina de chuño blanco en función de la actividad de agua ( $a_w$ ) a diferentes temperaturas**

25 °C							
Soluciones Salinas	$a_w$	$X_e$	$a_w/X_e$	$(a_w)^2$	A	B	C
LiCl	0.1142	0.1995±0.0853 <sup>b</sup>	0.5723	0.0130	2.0596	1.6646	0.4393
KC <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub>	0.2367	0.1878±0.0765 <sup>ab</sup>	1.2607	0.0560	2.0596	1.6646	0.4393
MgCl <sub>2</sub>	0.3287	0.3703±0.1009 <sup>a</sup>	0.8877	0.1080	2.0596	1.6646	0.4393
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0.4432	0.2646±0.1090 <sup>a</sup>	1.6750	0.1964	2.0596	1.6646	0.4393

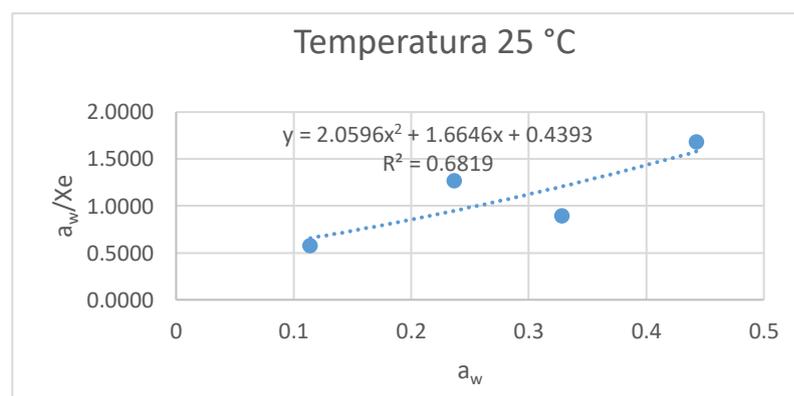
Promedio ± desviación estándar (n=3).

Superíndices con diferentes letras dentro de una columna indican diferencias significativas (p<0.05).

$X_e$ , humedad de equilibrio harina de chuño;  $a_w$ , actividad de agua de las soluciones salinas; **ABC**, constantes de la ecuación de GAB.

La Tabla 21 muestra la harina de chuño blanco donde alcanza la humedad de equilibrio ( $X_e$ ) a los 12 días en promedio los resultados.

Muestra también que la harina de chuño blanco aumento la cantidad de humedad de equilibrio a comparación con las otras soluciones salinas de 0.1995 g.H<sub>2</sub>O/g.m.s. hasta 0.2646 g.H<sub>2</sub>O/g.m.s., mostrando diferencias significativas con respecto a la humedad de equilibrio con un nivel de 95% de confianza, por lo tanto se puede decir si existe diferencias significativas de las soluciones salinas con respecto al contenido de humedad de equilibrio, para lo cual son comprobados estadísticamente ver anexo 1.



**Figura 11 — Se muestra la gráfica polinómica a 25 °C, los datos fueron tomados de la Tabla 21 y llevados a Excel para luego obtener los parámetros de adsorción**



En la Figura 11, se aprecia que para la temperatura 25 °C, sucede un incremento de humedad de equilibrio ( $X_e$ ) para humedad relativa correspondiente a las soluciones salinas LiCl, MgCl<sub>2</sub>, mientras que las sales KC<sub>2</sub>H<sub>3</sub>O<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, sucede una disminución de humedad de equilibrio.

**Tabla 22 — Datos experimentales de humedad de equilibrio,  $X_e$  (g.H<sub>2</sub>O/g.m.s.) de las muestras de la harina de chuño blanco en función de la actividad de agua ( $a_w$ ) a diferentes temperaturas**

35 °C							
Soluciones Salinas	$a_w$	$X_e$	$a_w/X_e$	$(a_w)^2$	A	B	C
LiCl	0.1081	0.2360± 0.0927 <sup>b</sup>	0.4581	0.0117	1.031	3.5283	0.073
KC <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub>	0.2155	0.2377±0.0891 <sup>ab</sup>	0.9066	0.0464	1.031	3.5283	0.073
MgCl <sub>2</sub>	0.3180	0.2494± 0.0949 <sup>a</sup>	1.2750	0.1011	1.031	3.5283	0.073
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0.4363	0.2403± 0.0920 <sup>a</sup>	1.8158	0.1904	1.031	3.5283	0.073

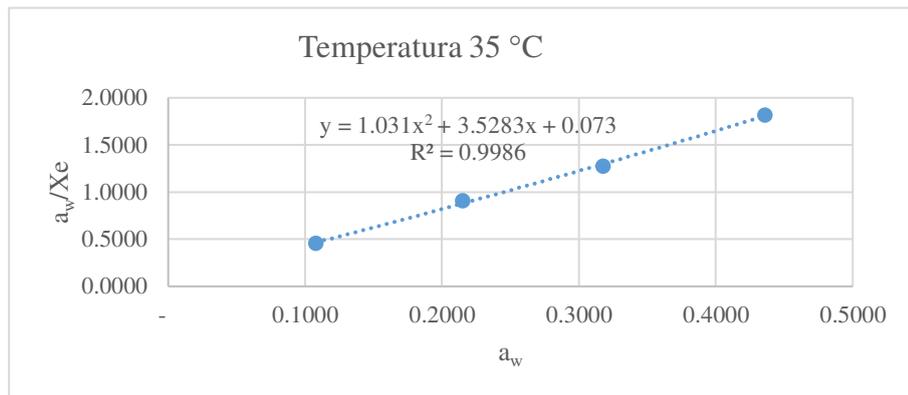
Promedio ± desviación estándar (n=3).

Superíndices con diferentes letras dentro de una columna indican diferencias significativas (p<0.05).

$X_e$ , humedad de equilibrio harina de chuño;  $a_w$ , actividad de agua de las soluciones salinas; **ABC**, Constantes de la ecuación de GAB.

La Tabla 22 muestra la harina de chuño blanco donde alcanza la humedad de equilibrio ( $X_e$ ) a los 12 días en promedio los resultados.

Muestra también que la harina de chuño blanco aumento la cantidad de humedad de equilibrio a comparación con las otras soluciones salinas de 0.2360 g.H<sub>2</sub>O/g.m.s. hasta 0.2403 g.H<sub>2</sub>O/g.m.s., mostrando diferencias significativas con respecto a la humedad de equilibrio con un nivel de 95% de confianza, por lo tanto se puede decir si existe diferencias significativas de las soluciones salinas con respecto al contenido de humedad de equilibrio, para lo cual son comprobados estadísticamente ver anexo 1.



**Figura 12** — Se muestra la gráfica polinómica a 35 °C, los datos fueron tomados de la tabla 22 y llevados a Excel para luego obtener los parámetros de adsorción

En Figura 12, se aprecia que para la temperatura 35 °C, sucede un incremento de humedad de equilibrio (Xe) para humedad relativa correspondiente a las soluciones salinas LiCl, KC<sub>2</sub>H<sub>3</sub>O<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.

**Tabla 23** — Con los datos obtenidos de las gráficas polinómica procedemos a realizar las isothermas de adsorción, relacionando en el eje X la a<sub>w</sub> y en eje de Y la humedad de equilibrio (Xe) ajustando con la ecuación de GAB a 15 °C, 25 °C y 35 °C

Soluciones Salinas	15 °C		25 °C		35 °C	
	a <sub>w</sub>	Xe (b.s.)	a <sub>w</sub>	Xe (b.s.)	a <sub>w</sub>	Xe (b.s.)
Cloruro de litio (LiCl)	0.1130	0.2125 ± 0.0891 <sup>b</sup>	0.1142	0.1827 ± 0.0853 <sup>b</sup>	0.1081	0.2360 ± 0.0927 <sup>b</sup>
Acetato de potasio (KC <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub> )	0.2340	0.2432 ± 0.1054 <sup>ab</sup>	0.2367	0.2527 ± 0.0765 <sup>ab</sup>	0.2155	0.2441 ± 0.0891 <sup>ab</sup>
Cloruro de magnesio (MgCl <sub>2</sub> )	0.3330	0.2540 ± 0.1054 <sup>a</sup>	0.3287	0.2807 ± 0.1009 <sup>a</sup>	0.3180	0.2780 ± 0.0949 <sup>a</sup>
Carbonato de potasio (K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	0.4320	0.2609 ± 0.0966 <sup>a</sup>	0.4432	0.3031 ± 0.1090 <sup>a</sup>	0.4363	0.3020 ± 0.0920 <sup>a</sup>

Promedio ± desviación estándar (n=3).

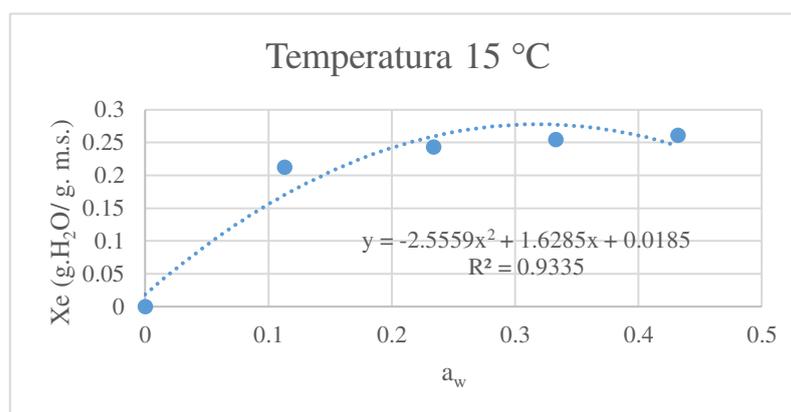
Superíndices con diferentes letras dentro de una columna indican diferencias significativas (p<0.05).

Xe, humedad de equilibrio harina de chuño; a<sub>w</sub>, actividad de agua de las soluciones salinas

La Tabla 23 muestra que la harina de chuño blanco aumenta la humedad de equilibrio para las tres temperaturas haciendo el ajuste con la ecuación de GAB, a comparación con las otras soluciones salinas, donde la temperatura 15 °C es de 0.2125 g.H<sub>2</sub>O/g.m.s. hasta 0.2609 g.H<sub>2</sub>O/g.m.s., para 25 °C es de 0.1827

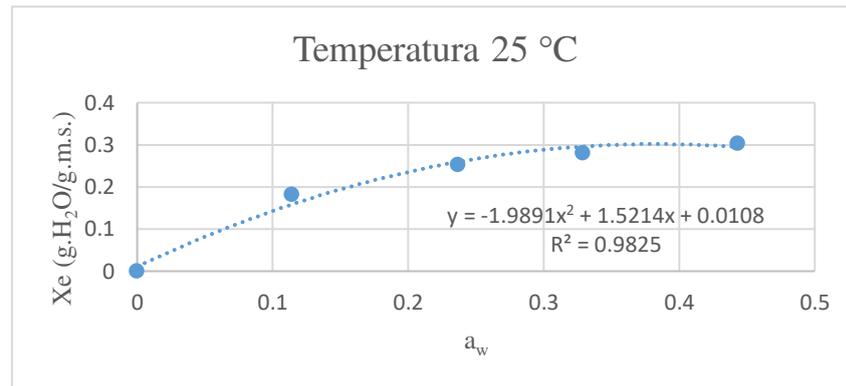


g.H<sub>2</sub>O/g.m.s. hasta 0.3021 g.H<sub>2</sub>O/g.m.s., y para 35 °C es 0.2360 g.H<sub>2</sub>O/g.m.s., hasta 0.3020 g.H<sub>2</sub>O/g.m.s., mostrando diferencias significativas con respecto a la humedad de equilibrio con un nivel de 95% de confianza, por lo tanto se puede decir si existe diferencias significativas de las soluciones salinas con respecto al contenido de humedad de equilibrio, para lo cual son comprobados estadísticamente ver anexo 1.



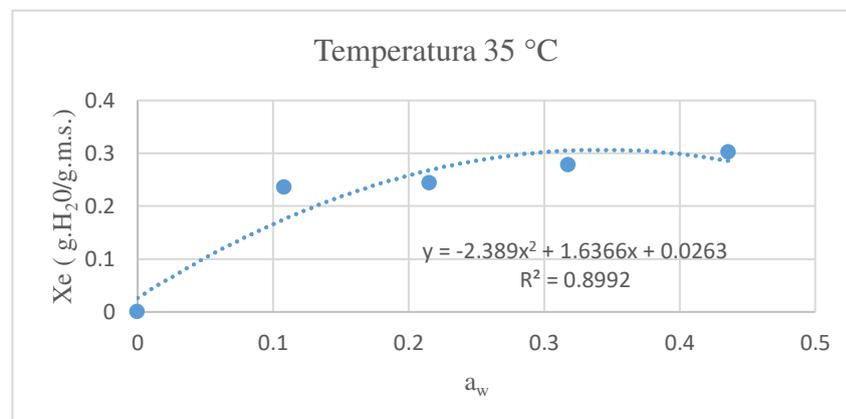
**Figura 13 — Se muestra la isoterma de adsorción usando el modelo de GAB a 15 °C, los datos fueron llevados a Excel donde nos dio como resultado una isoterma de forma sigmoidea tipo I**

La Figura 13, se muestra que, para la temperatura 15 °C, sucede un incremento de humedad de equilibrio ( $X_e$ ), para humedad relativa correspondientes a las soluciones salinas LiCl, KC<sub>2</sub>H<sub>3</sub>O<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, haciendo el ajuste con la ecuación de GAB.



**Figura 14** — Se muestra la isoterma de adsorción usando el modelo de GAB a 25 °C, los datos fueron llevados a excel donde nos dio como resultado una isoterma de forma sigmoidea tipo I

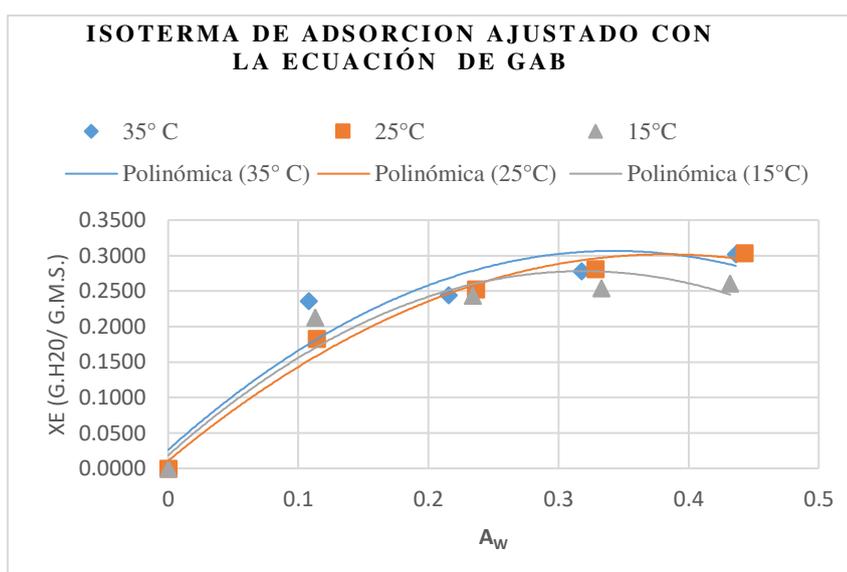
La Figura 14, se muestra que, para la temperatura 15 °C, sucede un incremento de humedad de equilibrio ( $X_e$ ), para humedad relativa correspondientes a las soluciones salinas LiCl,  $KC_2H_3O_2$ ,  $MgCl_2$ ,  $K_2CO_3$ , haciendo el ajuste con la ecuación de GAB.



**Figura 15** — Se muestra la isoterma de adsorción usando el modelo de GAB a 35 °C, los datos fueron llevados a Excel donde nos dio como resultado una isoterma de forma sigmoidea tipo I

La Figura 15, se muestra que, para la temperatura 15 °C, sucede un incremento de humedad de equilibrio ( $X_e$ ), para humedad relativa correspondientes a las soluciones salinas LiCl,  $KC_2H_3O_2$ ,  $MgCl_2$ ,  $K_2CO_3$ , haciendo el ajuste con la ecuación de GAB.





**Figura 16 — Se muestra las isoterma de adsorción de la harina de chuño blanco a temperaturas de 15 °C, 25 °C y 35 °C**

La Figura 16 muestra el comportamiento de adsorción de humedad en la harina de chuño blanco, se utilizó el modelo ampliamente utilizados en isoterma de alimentos (GAB) fueron ajustados a los datos experimentales de humedad de equilibrio ( $X_e$ ) en función de la actividad de agua ( $a_w$ ).



- c. **Parámetros de ajuste de las isotermas de adsorción de la harina de chuño por el modelo GAB, a diferentes temperaturas con sus respectivos coeficientes de determinación ( $R^2$ ), desvío porcentual medio (P), error estándar de humedad (SEM).**

**Tabla 24 — Parámetros de ajuste de las isotermas de adsorción de la harina de chuño blanco**

Temperatura	Modelo	Parámetros	$R^2$	P (%)	SEM
15 °C		Xm 0.2755			
		CGAB 613.508	0.9991	1.0203	0.0067
		KGAB 0.0473			
25 °C	GAB	Xm 0.3929			
		CGAB 22864.615	0.9825	6.8117	0.0394
		KGAB 0.00333			
35 °C		Xm 1.0191			
		CGAB 13834.002	0.9986	3.3214	0.0228
		KGAB 0.002015			

Los ajustes fueron estimados a un nivel de significancia del 95%.  
El rango de  $a_w$  para el modelo GAB fue de 0.11 a 0.44.

En la Tabla 24 son mostrados los parámetros de KGAB, muestra una dependencia lineal positiva con el incremento de la temperatura, disminuyendo de 0.0473 a 0.0021 en el mismo intervalo de temperatura. Donde el valor de CGAB es mayor, indicando que la harina de chuño de blanco presenta alta capacidad de adsorción de agua.

- d. **Determinación de las propiedades funcionales como: poder de hinchamiento (PH), índice de solubilidad en agua (ISA) y el índice de absorción de agua (IAA) de la harina de chuño blanco**

**Tabla 25 — Comparación de propiedades funcionales de la harina de chuño**

Propiedades funcionales	Harina de chuño	Almidón de tunta	Almidón de chuño
Índice de solubilidad en agua (ISA) g.soluble/g.muestra	1.5068 <sup>a</sup> ± 0.2913	7.11 ± 0.91	8.00 ± 1.32
Índice de absorción en agua (IAA) g.gel/g.muestra	1.5988 <sup>b</sup> ± 0.1031	1.31 ± 0.01	2.29 ± 0.01
Poder de hinchamiento (PH) mL/g	1.5957 <sup>c</sup> ± 0.1027	7.21 ± 0.95	8.19 ± 1.40

Superíndices con diferentes letras dentro de una columna indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

IAA: Índice de absorción de agua. ISA: Índice de solubilidad en agua. PH: Poder de hinchamiento. TG: temperatura de gelatinización.

- **Índice de solubilidad en agua**

La Tabla 25, se muestra que el índice de solubilidad en agua de la harina de chuño blanco de papa andina ccompis. Al aplicar la prueba de media (Anexo 1) Tabla 46 y 47, se aprecia que existe diferencia estadísticamente significativa entre los almidones de tunta y chuño, por lo tanto, podemos afirmar que la median del índice de solubilidad en agua de la harina de chuño es menos soluble a la media del almidón de tunta cómo al almidón de chuño.

**Índice de absorción de agua**

La Tabla 25, se muestra que el índice de absorción de agua de la harina de chuño blanco de papa andina ccompis. Al aplicar la prueba de media (Anexo 1) Tabla 49 y 50, se aprecia que existe diferencia estadísticamente significativa para la harina de chuño blanco y para el almidón de chuño, mientras que para el índice de absorción de agua del almidón de tunta no muestra diferencia significativa, por lo tanto, podemos afirmar que la media del índice de absorción en agua es menor a la media del almidón de chuño.

- **Poder de hinchamiento**

La Tabla 25, muestra que el poder de hinchamiento de la harina de chuño blanco de papa andina compis. Al aplicar la prueba de media (Anexo 1) Tabla 52 y 53, se aprecia que existe diferencia estadísticamente significativa entre los almidones de tunta y chuño, por lo tanto, podemos afirmar que el poder de hinchamiento de la harina de chuño es menor a la media del almidón de tunta cómo al almidón de chuño.

e. **Determinación de la temperatura de gelatinización de la harina de chuño blanco**

**Tabla 26 — Temperatura de gelatinización (TG) de la harina de chuño**

Propiedades funcionales de la harina de chuño blanco	Temperatura de gelatinización (°C)	Tiempo de gelatinización(min)
Temperatura de gelatinización (TG) °C	70 °C	1min <sup>b</sup> , 3min <sup>a</sup> y 5min <sup>c</sup>
	75 °C	1min <sup>b</sup> , 3min <sup>a</sup> y 5min <sup>c</sup>
	80 °C	1min <sup>b</sup> , 3min <sup>a</sup> y 5min <sup>c</sup>

Superíndices con diferentes letras dentro de una columna indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).  
TG: temperatura de gelatinización; Promedio ( $n=3$ ).

Se realizó un análisis de ANOVA y comparación de tukey (Anexo 1) Tabla 55, 56 y 57, para la temperatura de gelatinización, hallándose que existe diferencia estadísticamente significativa para los tres tiempos de gelatinización con un nivel del 95% de confianza, este hecho se evidencia en la Tabla 26.

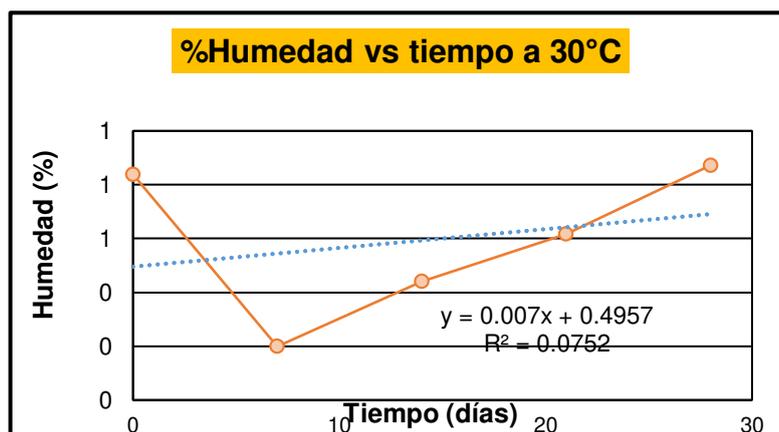
f. **Determinación del tiempo de vida útil considerando el incremento de acidez y la ganancia de humedad de la harina de chuño blanco**

**Tabla 27 — Resultados de la variación de humedades en la harina de chuño blanco a temperatura de almacenamiento de 30 °C**

30 °C	
Tiempo (días)	Humedad (%)
0	0.8375 <sup>b</sup> ± 0.0843
7	0.1991 <sup>b</sup> ± 0.0920
14	0.4405 <sup>b</sup> ± 0.0893
21	0.6173 <sup>b</sup> ± 0.0648
28	0.8725 <sup>b</sup> ± 0.0684

Promedio ± desviación estándar ( $n=3$ ).  
Superíndices con diferentes letras dentro de una columna indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

El tiempo de vida útil se determinó mediante la prueba y evaluación en almacenamiento acelerado, para la determinación de ganancia de humedad se cuantificó por triplicado a intervalos de cuatro semanas para cada temperatura de almacenamiento de 30 °C, respectivamente, estos análisis se realizaron en diferentes tiempos para cada temperatura, como se detalla en la Tabla 27.



**Figura 17** — Se muestra el porcentaje de humedad vs tiempo a 30 °C de la harina de chuño blanco

En la Figura 17 se presenta la variación de la humedad en base seca (b.s.):100 x (Masa de Agua/Masa Anhidra), de la harina de chuño blanco respecto al tiempo de almacenamiento, para la temperatura de 30 °C, observándose que a esta temperatura la humedad aumenta rápidamente por lo que provoca una ganancia de agua en la harina de chuño blanco.

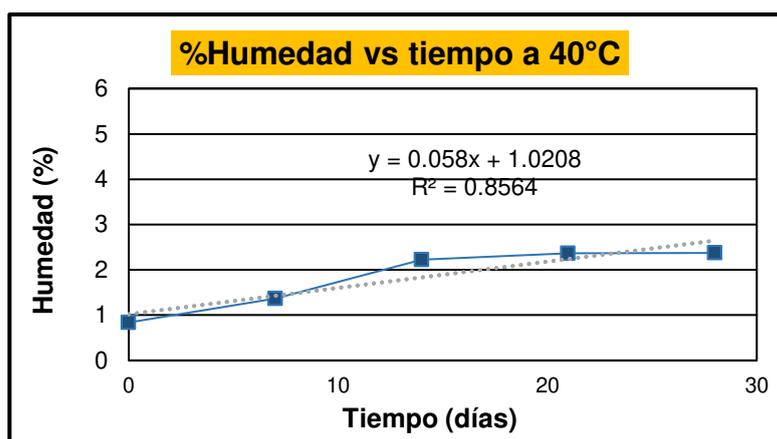
**Tabla 28** — Resultados de la variación de humedades en la harina de chuño blanco a temperatura de almacenamiento de 40 °C

40 °C	
Tiempo (días)	Humedad (%)
0	0.8375 <sup>a</sup> ± 0.0630
7	1.3716 <sup>a</sup> ± 0.3821
14	2.2208 <sup>a</sup> ± 0.1553
21	2.3612 <sup>a</sup> ± 0.1211
28	2.3723 <sup>a</sup> ± 0.1209

Promedio ± desviación estándar (n=3).

Superíndices con diferentes letras dentro de una columna indican diferencias significativas (p<0.05).

El tiempo de vida útil se determinó mediante la prueba y evaluación en almacenamiento acelerado, para la determinación de ganancia de humedad se cuantificó por triplicado a intervalos de cuatro semanas para cada temperatura de almacenamiento de 40 °C, respectivamente, estos análisis se realizaron en diferentes tiempos para cada temperatura, como se detalla en la Tabla 28.



**Figura 18 — Se muestra el porcentaje de humedad vs tiempo a 40 °C de la harina de chuño blanco**

En la Figura 18 se presenta la variación de la humedad en base seca (b.s.):100 x (Masa de Agua/Masa Anhidra), de la harina de chuño blanco respecto al tiempo de almacenamiento, para la temperatura de 40 °C, observándose que a esta temperatura la humedad aumenta rápidamente por lo que provoca una ganancia de agua en la harina de chuño blanco.

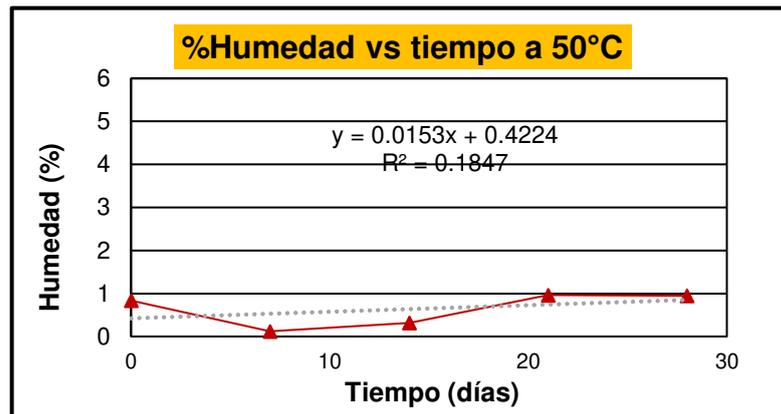
**Tabla 29 — Resultados de la variación de humedades en la harina de chuño blanco a temperatura de almacenamiento de 50 °C**

50 °C	
Tiempo (días)	Humedad (%)
0	0.8375 <sup>b</sup> ± 0.1177
7	0.1203 <sup>b</sup> ± 0.0086
14	0.3097 <sup>b</sup> ± 0.0977
21	0.9634 <sup>b</sup> ± 0.2758
28	0.9506 <sup>b</sup> ± 0.1006

Promedio ± desviación estándar (n=3).  
Superíndices con diferentes letras dentro de una columna indican diferencias significativas (p<0.05).

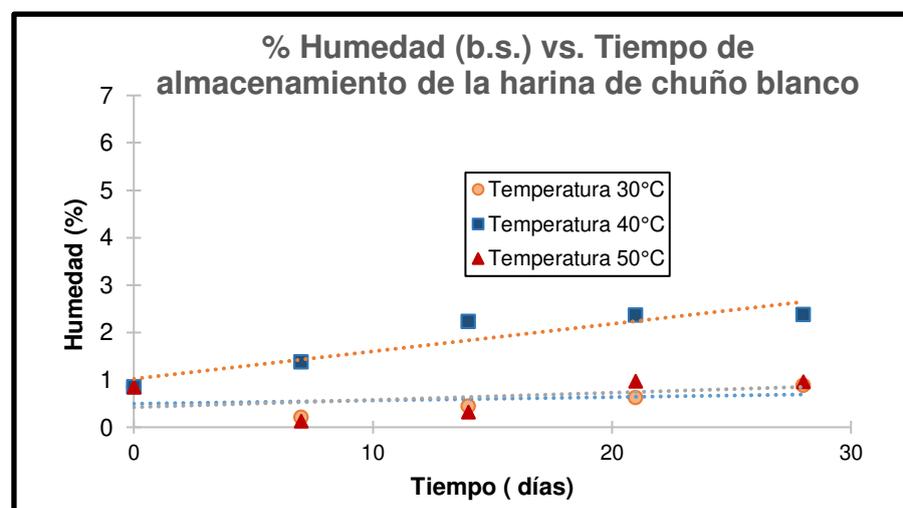
El tiempo de vida útil se determinó mediante la prueba y evaluación en almacenamiento acelerado, para la determinación de ganancia de humedad se cuantifico por triplicado a intervalos de cuatro semanas para cada temperatura de almacenamiento de 50 °C, respectivamente, estos análisis se realizaron en diferentes tiempos para cada temperatura, como se detalla en la Tabla 29.





**Figura 19 — Se muestra el porcentaje de humedad vs tiempo a 50 °C de la harina de chuño blanco**

En la Figura 19 se presenta la variación de la humedad en base seca (b.s.): 100 x (Masa de Agua/Masa Anhidra), de la harina de chuño blanco respecto al tiempo de almacenamiento, para la temperatura de 50 °C, observándose que a esta temperatura la humedad aumenta rápidamente por lo que provoca una ganancia de agua en la harina de chuño blanco.



**Figura 20 — Se muestra el porcentaje de humedad vs tiempo a 30 °C, 40 °C, 50 °C de la harina de chuño blanco**

En la Figura 20 se presenta la variación de la humedad en base seca (b.s.):100 x (Masa de Agua/Masa Anhidra), de la harina de chuño blanco respecto al tiempo de almacenamiento, para las temperaturas de 30 °C, 40 °C y 50 °C, observando que a la temperatura de 30 °C la humedad aumenta rápidamente en comparación de las otras dos temperaturas.

Tabla 30 — Cálculos a partir de la ecuación linealizada de Arrhenius

30 °C			40 °C			50 °C		
Tiempo (días)	Humedad (%)	Ln (Humedad)	Tiempo (días)	Humedad (%)	Ln (Humedad)	Tiempo (días)	Humedad (%)	Ln (Humedad)
0	0.8375 <sup>b</sup> ± 0.0843	-0.1773	0	0.8375 <sup>a</sup> ± 0.0630	-0.1773	0	0.8375 <sup>b</sup> ± 0.1177	-0.1773
7	0.1991 <sup>b</sup> ± 0.0920	-1.6139	7	1.3716 <sup>a</sup> ± 0.3821	0.3160	7	0.1203 <sup>b</sup> ± 0.0086	-2.1176
14	0.4405 <sup>b</sup> ± 0.0893	-0.8198	14	2.2208 <sup>a</sup> ± 0.1553	0.7979	14	0.3097 <sup>b</sup> ± 0.0977	-1.1722
21	0.6173 <sup>b</sup> ± 0.0648	-0.4824	21	2.3612 <sup>a</sup> ± 0.1211	0.8592	21	0.9634 <sup>b</sup> ± 0.2758	-0.0373
28	0.8725 <sup>b</sup> ± 0.0684	-0.1364	28	2.3723 <sup>a</sup> ± 0.1209	0.8639	28	0.9506 <sup>b</sup> ± 0.1006	-0.0506

Superíndices con las mismas letras dentro de una columna indican diferencias no significativas.

Ln: logaritmo neperiano.

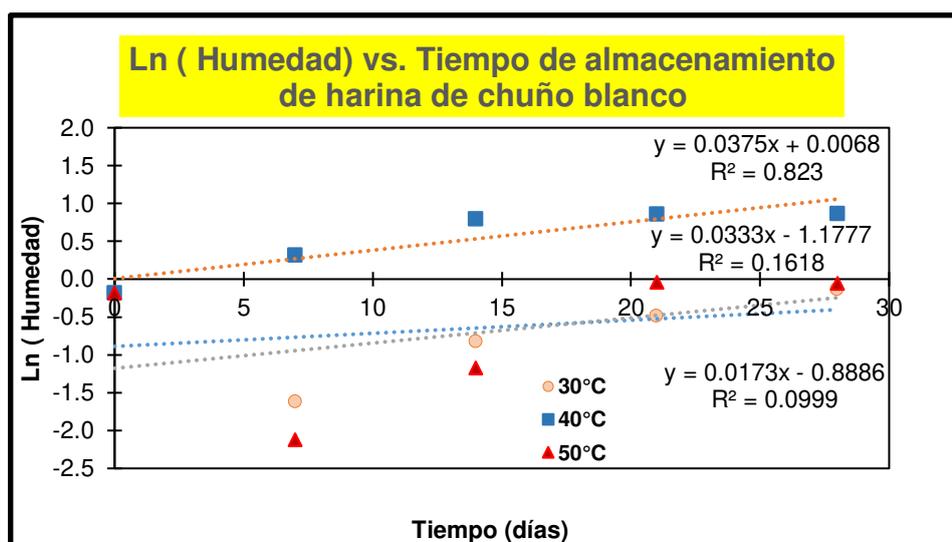


Figura 21 — Se muestra el Ln (Humedad) vs. Tiempo de almacenamiento de harina de chuño blanco

En la Tabla 30 y Figura 21 se muestra la relación entre Ln (humedad) en función del tiempo de almacenamiento (días) de la harina de chuño blanco a 30 °C, 40 °C y 50 °C. Se utilizó la ecuación de Arrhenius, que el orden de reacción para la ganancia de agua a lo largo del tiempo fue de orden uno.



**Tabla 31 — De la gráfica la ecuación de Arrhenius Ln (humedad) vs tiempo de almacenamiento**

1/T	T °C	K	Ln (k)
0.0033	30	0.0173	-4.0570
0.0032	40	0.0375	-3.2834
0.0031	50	0.0333	-3.4022

Ln: logaritmo neperiano; K: constante de cinética de reacción; T: temperatura

**Tabla 32 — Calculando el valor de la constante k a 20 °C utilizando la ecuación de Arrhenius**

T °C	k <sub>20</sub>	1/T	Ln (k)
20	0.0097	0.0034	-4.6393

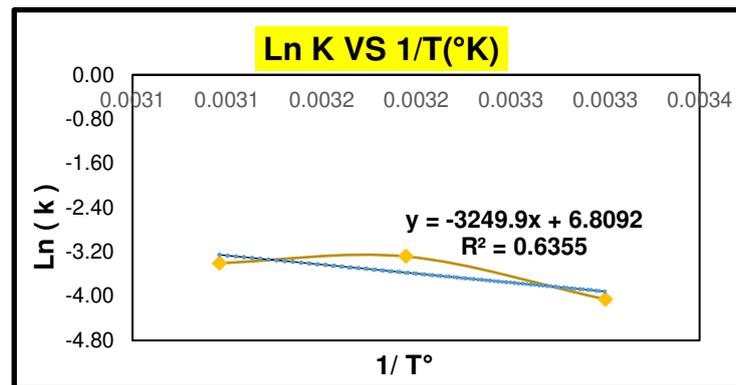
Ln: logaritmo neperiano; K: constante de cinética de reacción a 20 °C;  
T: temperatura

### Ecuación de Arrhenius

$$\ln k = \ln k_0 - E_a / RT$$

### Unidades

Pendiente de la recta:	$E_a / R = 3249.9$	$^{\circ}K^{-1}$
R (constante general de los gases):	0.008314	KJ/mol $^{\circ}k$
Despejando valores:	$E_a = 27.0197$	KJ/ mol



Ln: logaritmo neperiano; °K: Grados Kelvin; T: temperatura

**Figura 22 — Se muestra la ecuación de Arrhenius el Ln K VS 1/T (°K) de la harina de chuño blanco**

La Figura 22 muestra la ecuación de Arrhenius donde se determinó la vida útil de la harina de chuño blanco mediante pruebas aceleradas, empleando el porcentaje de humedad y acidez como indicadores críticos de deterioro.

Estimación de la vida útil de la harina de chuño blanco a 20 °C y en función del % de humedad.

**Aplicando la ecuación de orden uno:**

$$\ln(A) = \ln(A_0) + k \cdot t_s$$

$$t_s = \ln(A/A_0) / k$$

A<sub>0</sub>: 0.8375% de humedad inicial.

A: 5.8% de humedad crítica de aceptabilidad comercial.

K: valores a diferentes temperaturas.

T<sub>s</sub>: tiempo de vida útil.

**Tabla 32 — Estimación de vida útil de la harina de chuño blanco a diferentes temperaturas en función del porcentaje (%) de humedad**

K	T °C	Días	Meses
0.0097	20	199.50	6.65
0.0173	30	111.86	3.73
0.0375	40	51.61	1.72
0.0333	50	58.11	1.94

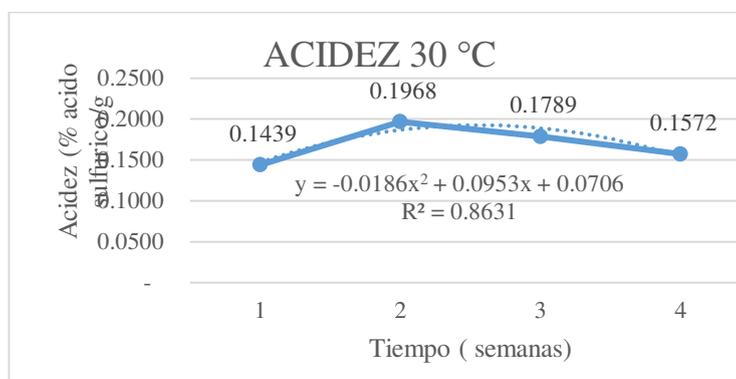


**Tabla 33 — Variación de acidez en la harina de chuño blanco a temperatura de almacenamiento de 30 °C**

30 °C	
Tiempo (semanas)	Acidez (%)
1	0.1439 <sup>b</sup> ± 0.0188
2	0.1968 <sup>a</sup> ± 0.0075
3	0.1789 <sup>ab</sup> ± 0.0077
4	0.1572 <sup>b</sup> ± 0.0153

Promedio ± desviación estándar (n=3).

Superíndices con diferentes letras dentro de una columna indican diferencias significativas (p<0.05).



**Figura 23 — Se muestra el porcentaje de acidez a 30 °C de la harina de chuño blanco**

En la Tabla 33 y Figura 23 se muestra un ascenso de las curvas en la primera semana de evaluación de todos los tratamientos; a partir de la segunda semana la acidez se mantuvo cercano a lo estable para todos los tratamientos de acidez, no hubo cambios bruscos en el comportamiento de la acidez del producto. Hay un incremento de la acidez desde la primera semana hasta la cuarta semana. Lo que nos indica que existe presencia de microorganismos que siguen desarrollándose y alterando la acidez de la harina de chuño.

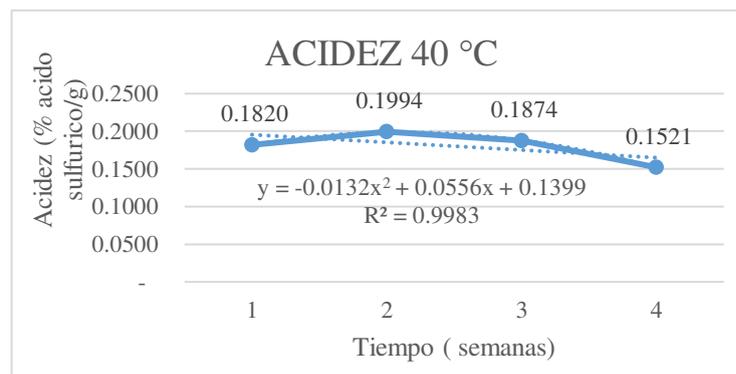


**Tabla 34 — Variación de acidez en la harina de chuño blanco a temperatura de almacenamiento de 40 °C**

40 °C	
Tiempo (semanas)	Acidez (%)
1	0.1820 <sup>b</sup> ± 0.0038
2	0.1994 <sup>a</sup> ± 0.0188
3	0.1874 <sup>ab</sup> ± 0.0115
4	0.1521 <sup>b</sup> ± 0.0038

Promedio ± desviación estándar (n=3).

Superíndices con diferentes letras dentro de una columna indican diferencias significativas (p<0.05).



**Figura 24 — Se muestra el porcentaje de acidez a 40 °C de la harina de chuño blanco**

En la Tabla 34 y Figura 24 se muestra un ascenso de las curvas en la primera semana de evaluación de todos los tratamientos; a partir de la segunda semana la acidez desciende no hubo cambios bruscos en el comportamiento de la acidez del producto. Hay una disminución de la acidez desde la primera semana hasta la cuarta semana. Lo que nos indica que no existe presencia de microorganismos en la harina de chuño.

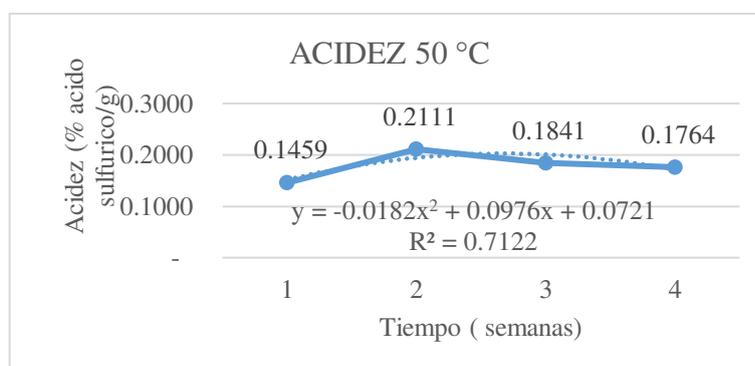


**Tabla 35 — Variación de acidez en la harina de chuño blanco a temperatura de almacenamiento de 50 °C**

50 °C	
Tiempo (semanas)	Acidez (%)
1	0.1459 <sup>b</sup> ± 0.0153
2	0.2111 <sup>a</sup> ± 0.0149
3	0.1841 <sup>ab</sup> ± 0.0077
4	0.1764 <sup>b</sup> ± 0.0192

Promedio ± desviación estándar (n=3).

Superíndices con diferentes letras dentro de una columna indican diferencias significativas (p<0.05).



**Figura 25 — Se muestra el porcentaje de acidez a 50 °C de la harina de chuño blanco**

En la Tabla 35 y Figura 25 se muestra un ascenso de las curvas en la primera semana de evaluación de todos los tratamientos; a partir de la segunda semana la acidez se mantuvo cercano a lo estable para todos los tratamientos de acidez no hubo cambios bruscos en el comportamiento de la acidez del producto. Hay un incremento de la acidez desde la primera semana hasta la cuarta semana. Lo que nos indica que existe presencia de microorganismos que siguen desarrollándose y alterando la acidez de la harina de chuño.

## 6.1 Contratación de hipótesis

### a. Contenido de la humedad de equilibrio ( $X_e$ ) de isoterma de adsorción

En el contenido de la actividad de agua ( $a_w$ ) de las soluciones salinas, si existe diferencia estadísticamente significativa, rechazando la hipótesis nula y aceptando la hipótesis alternativa.

**H<sub>a</sub>:** Las actividades de agua de las soluciones salinas si influyen en la humedad de equilibrio de la isoterma de adsorción de harina de chuño blanco.

En la temperatura no existe diferencia estadísticamente significativa, aceptando la hipótesis nula y rechazando la hipótesis alternativa.

**H<sub>0</sub>:** La temperatura no influye en la humedad de equilibrio de la isoterma de adsorción de harina de chuño blanco.

### b. Propiedades funcionales

#### Índice de solubilidad en agua (ISA) de la harina de chuño blanco/almidón de tunta y chuño

En el contenido de índice de solubilidad en agua de la harina de chuño blanco en comparación del almidón de tunta, si existe diferencia estadísticamente significativa, rechazando la hipótesis nula y aceptando la hipótesis alternativa.

**H<sub>a</sub>:** La media del índice de solubilidad en agua de la harina de chuño blanco es menor al almidón de tunta.

En el contenido de índice de solubilidad en agua de la harina de chuño blanco en comparación del almidón de chuño si existe diferencia estadísticamente significativa, rechazando la hipótesis nula y aceptando la hipótesis alternativa.

**H<sub>a</sub>:** La media del índice de solubilidad en agua de la harina de chuño blanco es menor al almidón de chuño.

#### Índice de absorción de agua (IAA) de la harina de chuño blanco/almidón de tunta y chuño

En el contenido de índice de absorción de agua de la harina de chuño blanco en comparación del almidón de tunta, no existe diferencia estadísticamente significativa, aceptando la hipótesis nula y rechazando la hipótesis alternativa.

**H<sub>0</sub>:** La media del índice de absorción de agua de la harina de chuño blanco es mayor al almidón de tunta.



En el contenido de índice de absorción de agua de la harina de chuño blanco en comparación del almidón de chuño si existe diferencia estadísticamente significativa, rechazando la hipótesis nula y aceptando la hipótesis alternativa.

**H<sub>a</sub>:** La media del índice de índice de absorción de agua de la harina de chuño blanco es menor al almidón de chuño.

#### **Poder de hinchamiento (PH) de la harina de chuño blanco/almidón de tunta y chuño**

En el contenido de poder de hinchamiento de la harina de chuño blanco en comparación del almidón de tunta, si existe diferencia estadísticamente significativa, rechazando la hipótesis nula y aceptando la hipótesis alternativa.

**H<sub>a</sub>:** La media del poder de hinchamiento de la harina de chuño blanco es menor al almidón de tunta.

En el contenido de poder de hinchamiento de la harina de chuño blanco en comparación del almidón de chuño si existe diferencia estadísticamente significativa, rechazando la hipótesis nula y aceptando la hipótesis alternativa.

**H<sub>a</sub>:** La media del poder de hinchamiento de la harina de chuño blanco es menor al almidón de chuño.

#### **c. Temperatura de gelatinización(TG)**

La temperatura de gelatinización no existe diferencia estadísticamente significativa, aceptando la hipótesis nula y rechazando la hipótesis alternativa.

**H<sub>0</sub>:** la temperatura no influye sobre la estabilidad de la harina gelatinizada.

El tiempo de gelatinización si existe diferencia estadísticamente significativa, rechazando la hipótesis nula y aceptando la hipótesis alternativa.

**H<sub>a</sub>:** el tiempo si influye en la sobre la estabilidad de la harina gelatinizada.

#### **d. Vida útil mediante la variación de humedad y acidez**

##### **Vida útil : Variación de humedad**

El tiempo en la variación de humedad no existe diferencia estadísticamente significativa, aceptando la hipótesis nula y rechazando la hipótesis alternativa.

**H<sub>0</sub>:** El tiempo no influye en la variación de humedad en la vida útil de la harina de chuño blanco.

La temperatura en la variación de humedad si existe diferencia estadísticamente significativa, rechazando la hipótesis nula y aceptando la hipótesis alternativa.



**H<sub>a</sub>:** La temperatura si influye en la variación de humedad en la vida útil de la harina de chuño blanco.

**Vida útil:** variación de acidez

El tiempo en la variación de acidez si existe diferencia estadísticamente significativa, rechazando la hipótesis nula y aceptando la hipótesis alternativa.

**H<sub>a</sub>:** El tiempo si influye en la variación de acidez en la vida útil de harina de chuño blanco.

La temperatura en la variación de acidez no existe diferencia estadísticamente significativa, aceptando la hipótesis nula y rechazando la hipótesis alternativa.

**H<sub>0</sub>:** La temperatura no influye en la variación de acidez en la vida útil de la harina de chuño blanco.

## 6.2 Discusión

### a. Análisis preliminar de la harina de chuño blanco

QUISPE (2009), en su trabajo de investigación registró la harina de chuño obteniendo un 12.45% de humedad. En nuestro caso los resultados del porcentaje de humedad de la harina de chuño blanco fue 12.6529%, obteniendo resultados semejantes

FONSECA Y ORDINOLA (2017), 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. La humedad de la harina de tunta debe tener como máximo un 16% de agua y el chuño hasta 14% máximo, esto es 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 pos cosecha.

El contenido de grasa obtenido en la investigación fue 0.3141%, de igual manera, RIVEROS (2009), indicó diferentes contenidos de grasa para la harina de chuño 0.2% y tunta 0.3%, a causa de la variedad de papas utilizadas para elaborar el chuño, 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).

### b. Determinación del contenido de la humedad de equilibrio ( $X_e$ ) a través del modelo GAB de la harina de chuño blanco

GIL (2012), afirma que el modelo G.A.B., permite la variación de calor de adsorción en las diferentes capas que participan en la multicapa, por lo que se ajusta más a la realidad y además este es una extensión del modelo G.A.B. Por esta razón, en la práctica fue necesario aplicar este modelo para hallar la isoterma de adsorción de la harina de chuño.

La Tabla 23, muestra los datos de humedad de equilibrio ( $X_e$ ) mediante el ajuste de la ecuación de GAB, en función de la actividad de agua para tres temperaturas 15 °C, 25 °C y 30 °C, en la Figura 15, se puede observar que se obtuvieron isotermas del tipo I. Se observa según el resultado obtenido del contenido de humedad de equilibrio

que presenta una dependencia con la temperatura, después de una  $a_w$  mayor a 0.45 se aprecia un entrecruzamiento de curvas, entonces es evidente que las muestras adsorbieron más agua a 15 °C y 25 °C que a los 35 °C.

HUAMÁN (2001), la isoterma tipo I corresponde a sustancias cristalinas tales como azúcares, notándose que es similar a la isoterma de la harina de chuño blanco, la cual se obtuvo en la práctica. De la misma manera FENEMA (1993), afirma también que esta gráfica es propia de frutas, productos de repostería y extractos de café, que contienen grandes cantidades de azúcar y de otras moléculas pequeñas solubles, y son pobres en polímeros.

**c. Determinación de las propiedades funcionales de la harina de chuño blanco**

HUAMAN *et al.*, (2019) en su investigación de caracterización de las propiedades funcionales del almidón total y cuantificación del almidón resistente de tunta y chuño, obtuvo en cuanto al índice de absorción de agua (IAA) 7.11% de tunta y chuño 8.0%. Donde en la practica la harina de chuño blanco evaluada presentó un índice de absorción de agua (IAA) 1.5988%, el cual fue muy inferior al registrado por los almidones de la misma fuente botánica donde se muestra en la Tabla 25.

En cuanto, al índice de solubilidad en agua (ISA) de la harina de chuño blanco presento un 1.5068%, siendo menos soluble que el almidón de chuño y más soluble que el almidón de tunta, similar al reportado por HUAMAN *et al.*, (2019) en el almidón de tunta 1.31%, fue menos soluble que del chuño 2.29%.

En cuanto al poder de hinchamiento (PH) la harina de chuño blanco presento 1.5957%, siendo inferior al reportado por HUAMAN *et al.*, (2019), el poder de hinchamiento del almidón de tunta (7.21%) fue menor que el chuño (8.19%). Las propiedades funcionales de la harina de chuño blanco (IAA, ISA y PH) fueron inferiores a las reportadas para almidón de tunta, chuño (Tabla 24), estas diferencias están influenciadas por la fuente botánica.

**d. Determinación de la temperatura de gelatinización (TG) de la harina de chuño blanco**

Los resultados obtenidos de temperatura de gelatinización en esta investigación oscilaron entre 70 °C a 80 °C, estos resultados resultan semejantes a los determinados para los almidones de tunta y chuño fueron presentados en la Tabla 26, donde el proceso de gelatinización presentó mayor en la tunta (60.70, 65.21 y 72.28 °C, respectivamente) que el chuño (59.25, 63.69 y 69.89 °C, respectivamente), Sin embargo, los valores obtenidos son superiores a los reportados por HUAMAN *et al.*, (2019).

**e. Determinación del tiempo de Vida útil a diferentes condiciones de almacenamiento, considerando la variación de humedad y acidez de la harina de chuño blanco**

El agua es de gran importancia en la conservación de los alimentos. Así mismo su control en el proceso de elaboración es básico como técnica de preservación. En los últimos 30 años los principios biológicos que rigen los mecanismos de las interacciones fisicoquímicas del agua han sido investigados sistemáticamente (GIMFERRER, 2012).

La harina de chuño blanco evaluada en la investigación presentó acidez en promedio (0.2%) el cual fue semejante según NORMA TÉCNICA ECUATORIANA. Harina de Trigo. Requisitos; Quito, Ecuador, 2015, La harina de Trigo que se analizó dio un valor de 0.2% acidez, quiere decir que mientras más bajo es el porcentaje de acidez será apto para el consumo, ya que si cumple con los parámetros establecidos en la Norma INEN 521 (Anexo 9).

En la Figura 17 se presenta la variación de la humedad en base seca (b.s.) de la harina de chuño blanco respecto al tiempo de almacenamiento, para la temperatura de 30 °C, observándose que a esta temperatura la humedad aumenta rápidamente. Esto se debe a que el aumento de la temperatura acelera el fenómeno de transferencia de masa hacia el interior del empaque por lo que provoca una ganancia de agua en la harina de chuño blanco (BUSTAMANTE OYAGUE, 2015).

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

#### 6.1 Conclusiones

- a. Las isotermas de adsorción se analizaron por el modelo de GAB demostrando que las isotermas tienen un comportamiento de tipo I, para las tres temperaturas 15 °C, 25 °C y 35 °C, donde la humedad de equilibrio presenta después de una actividad de agua mayor a 0.45 se aprecia un entrecruzamiento de curvas como se muestra en la Figura 16, esto indica una independencia entre las temperaturas, entonces es evidente que las muestras de harina de chuño blanco absorbieron más agua a 15 °C, 25 °C que a los 35 °C. Por lo tanto, se considera como condiciones óptimas de almacenamiento de harina de chuño blanco una humedad relativa del 45% y la temperatura entre 15 °C y 25 °C.
- b. Las propiedades funcionales de la harina de chuño blanco, índice de solubilidad en agua (ISA) es menos soluble que el almidón de tunta y chuño, en cuanto al índice de absorción en agua (IAA) la harina de chuño blanco obtuvo mayor absorción con respecto al almidón de tunta y menor absorción con respecto al almidón de chuño y el poder de hinchamiento (PH) de la harina de chuño blanco es menor que el almidón de tunta y chuño. Al aplicar la prueba de media se aprecia que existe diferencia significativa entre la harina de chuño blanco y el almidón de tunta y chuño.
- c. La temperatura de gelatinización (TG) de la harina de chuño blanco, oscila entre 75 °C a 80 °C el tiempo óptimo de gelatinización es 3 min a 5 min. Al aplicar el Análisis de varianza y comparación de Tukey, existe diferencia estadísticamente significativa del tiempo.
- d. Al determinar el tiempo de vida útil de la harina de chuño blanco, mediante prueba acelerada, considerando parámetros críticos como humedad y acidez, se obtuvo variación de porcentaje de humedad respecto al tiempo de almacenamiento siendo la temperatura la que obtuvo mayor influencia en la determinación de humedad y cuanto a la acidez el tiempo obtuvo mayor influencia, causando menor tiempo de vida útil 51.61 días a 40 °C. El tiempo de vida útil estimado en la ciudad de Abancay a 20 °C fue 199.50 días, para 30 °C es 111.86 días y a 50 °C se obtiene 58.11 días el cual indica que a mayor temperatura menor es el tiempo de vida útil.



## 6.2 Recomendaciones

- Se recomienda evaluar estudios del contenido de glicoalcaloides en las etapas del proceso de elaboración del chuño blanco y también se recomienda evaluar el contenido de los factores a los que está expuesta la papa durante el periodo del pos cosecha en el contenido de glicoalcolides.
- Se recomienda ejecutar estudios de isotermas de adsorción ampliar el rango de actividades de agua cercanas a 1 para posteriores trabajos de investigación.
- Se recomienda desarrollar estudios sobre el comportamiento reológico del almidón del chuño blanco, para conocer qué tipo de aplicación se puede dar en la industria alimentaria en donde se requiera aumentar el poder espesante del producto final.
- Se recomienda realizar un diagnóstico del sistema actual de producción y comercialización a nivel de zonas productoras de papa y procesadoras de chuño blanco, para plantear a los agricultores alternativas tecnológicas de almacenamiento, material de empaque con la finalidad de tener vida útil adecuada e inocuidad correspondiente.



## REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

A.O.A.C. (1997). *OFFICIAL METHODS OF ANALYSIS*. Washington Dc.: Association of official analytical chemist.

ALAKALI, J., IRTWANGE, S.V. AND SATIMEHIN, A. (2009). *Moisture adsorption characteristics of ginger slices*. Brasil: Ciencia y Tecnología de Alimentos, Campinas, 29(1):155- 164. Campinas, Sao Paulo.

ALVAREZ, V., (2006). *Efecto de las condiciones de almacenamiento en el tiempo de vida útil e productos de consumo masivos de baja humedad empacados en películas plásticas*. S.L.:Obtenido [https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/.../Tesis\\_Vivian\\_Alvarez.doc](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/.../Tesis_Vivian_Alvarez.doc).

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*. Perú : Información Tecnológica, 19 (1), 19-28.

ANDERSON, R.A. (1982). *Absorción de agua y solubilidad característica de los productos de grano pequeño recién preparado*. S.L.: La química de los cereales;2065-269.

ARAUJO. (2001). *Suco de camu-camu (Myrciaria dubia H.B.K Me Vaugh) microencapsulado obtenido a través de secado por atomización*. Brasil: Universidad de Estadual de Campinas.

ARISTIZÁBAL, J. & SANCHEZ, T. (2007). *Análisis físicoquímico del almidón*. Roma Italia:Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca FAO. Vols. 61-91.

ARISTIZABAL, J., & SANCHEZ, T. (2007). *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*. S.L.: Boletín de servicios agrícolas de la FAO 163., 1-120.

BADUI, S. (1999). *Química de los alimentos*. Mexico: Cuarta edición. Editorial Pearson Educación de México, S.A. de C.V. México.

BADUI, S. (2006). *Química de los Alimentos. Programas educativos S. México, D.F. : S.N.*



- BADUI, D. (2013). *Química de alimentos*. . Mexico: Cuarta edición. Editorial Pearsor Educación de México, S.A. de C.V. México.
- BARBOSA, A. (2003). *Encapsulacao de oleoresina de páprica por r atomizacao em goma en aglomerados porosos de amido7gelatina:estabilidade e aplicacao*. Sao Paulo-Brasil: Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- BARRIOS. (1989). *Fundamentos de secado en productos agropecuarios*.Venezuela: Universidad de los Andes.
- BRENNAN. (1980). *Las operaciones de la ingeniería de los alimentos*. España: segunda edición: Editorial Acribia. S.A.
- BUSTAMANTE- OYAGUE, B. (2015).*Estudio de la vida util de galletas saladas mediante la ecuacion de arrhenius*. Universidad Nacional del Callao, Lima, Perú.
- CALDERON, et al. (2005). *Vida útil de Alimentos*. San Jose : CITA. UCR.
- CASP, A. & ABRIL, J. (1999). *Procesos de conservacion de alimentos*. Ediciones Mundi Prens., España.
- CATAL. (1995). *Estudio de las isotermas de adsorción de agua de las harinas de quinua (Chenopodium quinoa Wild) y kañiwa (Chenopodium pallidicaule Aellen)*. Lima Perú : Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Industrias Alimentarias.167 p.
- CÁTEDRA DE BROMATOLOGIA Y TECNICAS ALIMENTARIAS. (2015). *Catedra de Bromatología y Técnicas Alimentarias UNSTA. Argentina, pp 1–7*.
- CHEFTEL, J. & CHEFTEL, H. (2000). *Introducción a la bioquímica y tecnología de alimentos*, Volumen I. Zaragoza- España.: Acribia, S.A.
- CHOQUE, D. (2009). *Evaluación de las isotermas de adsorción del Maíz Morado (Zea mays L.) - variedad Canteño*. Cusco Perú: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.



CLEMENTE, G. 2003. *Efecto de la contracción en la cinética de secado de músculos de jamón*. España: Universidad Politécnica de Valencia.

CORREA, PONCE.C. (2005). *Obtenção e modelagem das isotermas de dessorção e do calor isostérico de dessorção para grãos de trigo*. Brasil: Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.7, n.1, p.39-48.

DE LA CRUZ, W. (2009). *Complementación proteica de harina de trigo (*Triticum aestivum* L.) por harina de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) y suero en pan de molde y tiempo*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.

DEL NOBILE, M. (2003). *Shelf life Prediction of Cereal – Base Dry Foods Packed in Moisture – sensitive Films*. S.L.: Journal of Foods Science. Vol 68 N° 4. Pag. 1282 - 1300.

DENDY, D. & DOBRASZCZYK, B.J. (2001). *Cereales y Productos derivados*. España : Acribia.

DETHMERS, A. (1979). *Utilizing sensory evaluation to determine product shelf life*. S.L.: FoodTechnology, September. 40-42.

DIAZ. (2015). *Determinación de las propiedades Físicas, Químicas, Tecnofuncionales y la estabilidad en congelación/descongelación del almidón de cuatro variedades de (*Solanum tuberosum* ssp)*. Universidad Nacional Jose Maria Arguedas, Andahuaylas Perú.

DIAZ, (2002). citado por PULLA HUILLCA, PALMER. (2011). *Determinación de las isotermas de adsorción del ají (*Capsicum annuum*.L) seco*. Puerto Maldonado: Universidad Nacional Amazonica de Madre de Dios.

DIAZ, M. (2016). *Método acelerado para determinar tiempo de vida útil del King Kong de manjar blanco envasado al vacío*. S.L.: Obtenido de academia.edu: [://www.academia.edu/8406294/C%C3%93\\_Palabras\\_clave\\_M%C3%A9todo](http://www.academia.edu/8406294/C%C3%93_Palabras_clave_M%C3%A9todo).

ESPINO, R. C. (1995). *Evaluación de los modelos de GAB, BET, Pfo et al. y Henderson-Thompson en la descripción de isotermas de adsorción en sémola de maíz y maíz opaco- 2 (*Zea mays* L.)*. Facultad de Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima Perú.



FANNY JHOANNA CHILLON HUAMAN, &, ROSMERY MAMANI RODRIGUEZ. (2019). *Caracterización de las propiedades tecnofuncionales del almidón total y cuantificación del almidón resistente de tunta y chuño*. Universidad Peruana Unión, Lima.

FAO. (1993). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación*. Italia : Colección agricultura, p 26.

FEITOSA, R. M. (1998). *Caracterizado físico-química do suco e pó de acerola (Malpighia punicefoli L.)*. Tese de Doutorado em Engenharia de Alimentos Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas., Sao Paulo Brasil.

FELBER, R. B. (1981). *Package engineering*. December, 53 – 55. S.L.: Package engineering. December, 53 – 55.

FELLOWS. (2000). *Food Processing Technology*. Englan: Principles and Practice. 2da edición. Edit. TJ International. Englan.

FENEMA, O. (1993). *Química de los alimentos*. 2º edición. España: Editorial Acribia S.A.

FENNEMA. (2000). *Química de los alimentos*. España: Editorial Acribia.

FENNEMA, O., R. (1993). *Análisis de Alimentos. Fundamentos y Técnicas*. España: Editorial Reverté.

FIorentin, et,al. (2010). *Isotermas de sorcao do residuo agroindustrial bagacode laranja*. Brasil: revista Brasileira de engenharia agricola e ambiental , Campina Grande.

GABAS. (2009). *Propiedades termodinámicas de sordón de agua de la pulpa de lulo (Solanum quitoense Lam) en polvo con encapsulante*. Brasil : Ciencia y Tecnología de Alimentos,Campinas, 29(4): 911-918.

GIL, J. (2012). *Isotermas de adsorción y desorción de agua en en polvo. leche descremada*. Argentina : Universidad Nacional de San Luis.



GIMFERRER, N. (2012). *Obtenido de El agua en los alimentos*. Perú:  
<http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/ciencia-ytecnologia>.

GOBIERNO REGIONAL PUNO. (2011). *Proyecto Reginal Cultivos Andinos*. Puno:  
Folleto produccion de la papa nativa.

GRACE, M.R. (1977). *Elaboracion de la yuca*. E.E.U.U: Organizacion de las naciones  
unidas para la agricultura y la alimentacion(FAO).

GUIDI, A., ESPRELLA,R., AGUILERA ,J.& DEVAUX,A. (2007). *Caracteristicas de la  
cadena agroalimentaria de chuño y tunta para el altiplano central de Bolivia. Papa  
deshidratada tunta*. Bolivia: Proyecto papa andina.

HELDMAN, LUND. (2007). *Handbook of Food Engineering*. EE. UU.: CRC Press.  
Florida – EE. UU.

HERRERA LUZ CARDENAS. (2018). *Niveles de glicoalcaloides durante la elaboracion  
del chuño negro a partir de la papa amarga (Solanum juzepczukii) y (Solanum  
curtilobum)*.Universidad Nacional De San Agustin De Arequipa.

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

HUAMAN, FANNY JHOANNA CHILON & RODRIGUEZ, ROSMER MAMANI.  
(2019). *Caracterización de las propiedades tecnofuncionales del almidón total y  
cuantificación del almidón resistente de tunta y chuño*. Lima: Universidad Peruana Unión.

HUAMÁN, LLDEFONSO M. (2001). *Predicción de la actividad de agua utilizando el  
modelo matemático de G.A.B. en el proceso de deshidratación osmótica del capulí  
(Physalis peruviana)*. Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de  
Industrias Alimentarias.119 p.

J., VILLARROEL. (2013). *Estudio del efecto de la temperatura en la resistencia y  
migraciones de un evase plastico*. Catalunya : Validacion y efectos sensoriales. Obtenido  
de Universidad Politecnica de Catalunya  
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/20459/memoria.pdf>.



JIMÉNEZ, R., GONZÁLEZ, N., MAGAÑA, A., C& ORONA, A. (2011). *Contenido de Almidón Resistente en Alimentos consumidos en el sureste de México*. Unacar tecnociencia, Mexico.

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. EE.UU.:

KUROZAWA. 2005. *Efeito das condioes de processo na cinética de secagem de cogumelo Agaricus blazet*. Brasil: Universidade Estadual de Campinas.

LABUZA (1985), citado por CHOQUE. (2009). *Effect of temperature on the moisture sorption isotherm and water activity shift of two dehydrated food*. S.L.: Journal Food Science, v. 50, No 2, p. 385-391.

LABUZA, T.P. (2000). *Reaction Orden Determination and reaction Kinetics*. Estados Unidos: University of Minnesota. St. Paul. Mn. 55108.

LAJALO, F., & WENZEL, E. (2006). *Carbohidratos en alimentos regionales*.

LINDEBOOM, N. (2004). *Asoectos analiticos ,bioquimios y fisicoquimicos de tamaño de los granulos de almidon*. S.L.: Enfacis en pequeños almidones.

MAN & JONES, A. A. (1997). *Shelf life evaluation of foods*. . Londres : Blackie Academic and Professional. pág. 321 p.

MARQUEA, M.A. (2009). *Influencia de encapsulantes e do metodo de sacagem nas propiedades fisico-quimicas*. Brasil: Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho.

MARTINEZ, BRENDA PAMELA *et. al.* (2016). *Impacto del gorgojo de los andes (premnotryppes sspp.) en la produccion y comercializacion del chuño blanco en las economias campesinas del departamento de Puno*. Lima: Universidad Nacional Agraria la Molina.



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*. Oriente : Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente, 26 (2), 182-187.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO DEL PERÚ. (2018). *Ministerio De Agricultura Y Riego Del Perú* : [www. minagri.gob.pe](http://www.minagri.gob.pe).

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

NASCIMIENTO, F.M. (2006). *Secagem e armazenamento da polpa de pitanga (Eugenia uniflora L.)*. Tese de Mestrado em Engenharia Agrícola, Área de concentração em armazenamento e processamento de produtos agrícolas. Universidade Federal de Campina Grande.

NEGRI, L. M. (2005). *El PH y La Acidez de La Leche*. Argentina, : S.N.

NOGUEIRA, R. (1990). *Comportamento higroscópico do suco de laranja liofilizado*. Sao Paulo - Brasil : Área de Bromatología, Faculdade de Ciencia Farmaceuticas, Universidade de Sao Paulo.

NTP, 205.016:1981. REVISADO, (2011). *Determinacion de peroxidos*. S.L.: Biblioteca Central de Indecopi, revisado.

PALMER, PULLA HUILLCA. (2011). *Determinación de las isotermas de adsorción del aji (Capsicum annum. L.) seco*. Puerto Maldonado: Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.

PEÑARRIETA, J., ALAVARADO, J., BRAVO, J., & BERGENSTAHL. (2015). *Chuño and tunta*. the traditional andean sun-dried potatoes.: anaova science publishers, inc.. 1-12.

PERALTA GUEVARA, DIEGO ELIO. (2014). *Condiciones de almacenamiento de dos variedades de granos de kiwicha (Amarantus caudatus) a través de modelos matemáticos de isotermas de adsorción*. Andahuaylas: Universidad Nacional Jose Maria Arguedas.



- PEREIRA, TATIANA DEL ROSARIO. (2017). *Vida anaquel de la harina de trigo (Triticum aestivum L.) extruida, elaborada por el molino san miguel*. Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- PRODERN. (2018). *La papa nativa en Apurímac*. Lima : Biblioteca Nacional del Perú.
- QUINTANA, J. (2007). *Analisis y diseño de empaques flexibles laminados para envasar alimentos* . S.L.: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/.../5996/.../Capítulo%203.doc>.
- QUIÑONES, J. (2015). *Vida util y calidad sensorial. Obtenido de Bebida probiotica delactosuero adicionada con pulpa de mango y almendras*. S.L.: [http://www.academia.edu/11265428/Vida\\_util\\_y\\_calidad\\_sensorial](http://www.academia.edu/11265428/Vida_util_y_calidad_sensorial).
- QUISPE, N. (2009). *Desarrollo de un producto alimenticio por mezclas de harinas de chuño y trigo para el ayllu maiasaya muilli*. Bolivia: Universidad Mayor de San Simon.
- REA, J., & VACHER, J. (1992). *La papa amarga*. Bolivia: mesa redonda: Perú - Bolivia, La Paz 7 – 8 mayo 1991. ORSTOM, 111.
- RIGAPLAST. (2010). *Rigaplast Industrial S.A.* S.L.: Obtenido de Fabrica de bolsas y bobinas de plasticos: [www.rigaplast.com](http://www.rigaplast.com).
- SALAS, W. (2006). *Materiales de empaque. Obtenido de Universidad Nacional Agraria La Molina*. Lima: Centro de investigacion y capacitacion de envases y embalajes.
- SALAZAR MARIELA. ZAMBRANO JUDITH & VALESILLOS HERIBERTO. (2008). *Evaluacion del rendimiento y características de calidad de trece clones avanzados de papa (Solanum tuberosum L.)*. Trujillo: Universidad de los Andes, Nucleo Universitario Rafael Rangel, págs. pp. 101-117. Vol. Vol. 14.
- SANCHEZ, GONZALES I. (2007). *Propiedades fisicoquímicas de almidones cationicos elaborados por extruccion*. Mexico: Instituto Politecnico Nacional.
- SANDOVAL, A; BARREIRO, J.; TOVAR, X. ANGUEIRA,M. (2002). *Características de sorción del Cacao Fermentado en polvo (Theobroma cacao)*. Zulia : Rev.Téc. Ing. Universidad del Zulia. 25(1): 1-7.



SERATO, M. (2013). *Nutrinova. Obtenido de Vida en el anaquel*. S.L.: <http://nutriuniver8.blogspot.pe/2013/04/24-vida-en-el-anaquel.html>.

SHAFIUR, R. (2003). *Manual de Conservación de los Alimentos*. España.: Acribia – España.

SHINGH, J. (2003). *Estudio de propiedades morfológicas y reológicas del almidón granular, soluble en agua fría*. S.L.: Química de alimentos.

SILVA, HUILCAPI, C. (2008). *Análisis de Acidez Titulable*. Machala - Ecuador, : In Métodos de Análisis Químico de Alimentos,p 58.

SUMALITHA, T. (2009). *Comportamiento higroscópico de pós de diferentes variedades de manga (Mangifera indica L.)*. Brasil: Tese de Mestrado em Tecnologia de Alimentos, Área de concentração: Ciências e Tecnologia de Alimentos, Departamento de Tecnologia de Alimentos Universidade Federal do Ceará.

T; MEXICO VASQUEZ,S.C. (2016). *Tecnología pos cosecha asociación 28 iberoamericana*. america: revista iberoamericana 17 (2), 307–317.

TESTER, F. R., KARKALAS, J., & Q. (2004). *El almidón composición, estructura fina y la arquitectura*. S.L.: Ciencia cereales, 151-165.

VALENZUELA & ROJAS. (2006). *Optimización de la obtención de harina de nuez (Juglans regia) de la variedad semilla California, Chandler y serr y estudio de su estabilidad química en el tiempo*. Universidad de Chile, Ingeniería de alimentos.

VEGA, A. LARA,E. Y LEMUS,R. (2006). *Isoterma de adsorción en harina de maíz (Zea mays L)*. Campinas : Food Science and technology, 26(4):821-827.

VIDAURRE, J. (2015). *Principios básicos para determinar la vida útil de los alimentos*. Lambayeque: Obtenido de Colegio de Ingenieros del Perú- Consejo de departamental de Lambayeque.

VIDAURRE, R.,. (2013). *Principios básicos para determinar la vida útil de los alimentos*. Lambayeque: Colegio de Ingenieros del Perú.



YAMAMOTO, N. (1988). *Potato processing learning from a traditional Andean system*. Lima, Perú: In: The Social Sciences at CIP, Vol. 181.

YUAN, ZHAG, DAI, & YU. (2007). *Propiedades fisicoquímicas del almidón obtenido de Dioscorea nipponica y comparación con otros almidones de tubérculos*. S.L.: Ingeniería de Alimentos.

ZAMBRANO SALAZAR M. (2008). *Evaluación del Rendimiento y Características de Calidad de trece clones avanzados de Papa (Solanum tuberosum L.)*. Perú : Agricultura Andina.

ZUG, J. (2002). *Isotermas de Adsorción: Bases Mecánica - Estadísticas*. Argentina: Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires.



## ANEXOS



## Anexo 1

**Tabla 36 — Datos del porcentaje de humedad de la harina de chuño blanco**

Repeticiones	Ppv	pm <sub>i</sub>	t <sub>0</sub> (ppv+ pm <sub>i</sub> )	t <sub>1</sub> (ppv+ pm <sub>i</sub> )	t <sub>2</sub> (ppv+ pm <sub>i</sub> )	t <sub>3</sub> (ppv+ pm <sub>i</sub> )
			0 min.	30 min.	60 min.	90 min.
1	45.6291	2.0443	<b>2.0443</b>	<b>1.7896</b>	<b>1.7951</b>	<b>1.795</b>
			47.6734	47.4187	47.4242	47.4241
2	45.1352	2.057	<b>2.057</b>	<b>1.8004</b>	<b>1.7957</b>	<b>1.7868</b>
			47.1922	46.9356	46.9309	46.922
3	43.9146	2.0242	<b>2.0242</b>	<b>1.7784</b>	<b>1.7745</b>	<b>1.7644</b>
			45.9388	45.693	45.6891	45.679
4	46.0874	2.0068	<b>2.0068</b>	<b>1.7762</b>	<b>1.8116</b>	<b>1.757</b>
			48.0942	47.8636	47.899	47.8444
5	37.4292	2.0298	<b>2.0298</b>	<b>1.7879</b>	<b>1.7755</b>	<b>1.7731</b>
			39.459	39.2171	39.2047	39.2023

ppv, peso de placa vacía; pm<sub>i</sub>, peso de muestra inicial; t, tiempo.

**Tabla 37 — Promedio del porcentaje de humedad**

	t <sub>0</sub> min.	t <sub>30</sub> min.	t <sub>60</sub> min.	t <sub>90</sub> min.
	2.0443	1.7896	1.7951	1.795
	2.057	1.8004	1.7957	1.7868
	2.0242	1.7784	1.7745	1.7644
	2.0068	1.7762	1.8116	1.757
	2.0298	1.7879	1.7755	1.7731
<b>Promedio</b>	<b>2.0324</b>	<b>1.7865</b>	<b>1.7905</b>	<b>1.7753</b>
<b>% Humedad</b>		<b>12.6529</b>		
<b>% m.s.</b>		<b>87.3471</b>		
<b>Δ</b>	0.0192	0.0097	0.0156	0.0156
<b>C.V.</b>	0.9452	0.543	0.8717	0.8812

δ, desviación estándar; C.V., coeficiente de variabilidad; m.s., materia seca

**Tabla 38 — Datos del contenido de grasa total de la harina de chuño blanco**

Repeticiones	Peso de placa vacía	Peso de muestra inicial	Peso de placa vacía + Muestra obtenida	% de grasa total
1	23.0613	5.0679	23.0785	0.3394
2	21.7417	5.0411	21.7582	0.3273
3	24.0133	5.0276	24.0289	0.3103
4	24.1973	5.0825	24.2115	0.2794
<b>Promedio</b>				<b>0.3141</b>

**Tabla 39 — Variaciones de pesos de la harina de chuño blanco, hasta alcanzar la humedad de equilibrio (Xe) a 15°C**

Temperatura 15°C							
Soluciones salinas		Aw	Repetición	Día 0	Día 4	Día 8	Día 12
Cloruro de litio	LiCl	0.113	1	1.0124	1.177	1.2034	1.2239
			2	1.02	1.1322	1.1817	1.1994
			3	1.076	1.252	1.298	1.2305
			<b>Promedio</b>	<b>1.0361</b>	<b>1.1871</b>	<b>1.2277</b>	<b>1.2179</b>
Acetato de potasio	KC <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub>	0.2340	1	1.0312	1.2053	1.2433	1.224
			2	1.077	1.2328	1.2771	1.2299
			3	1.016	1.2505	1.3108	1.2593
			<b>Promedio</b>	<b>1.0414</b>	<b>1.2295</b>	<b>1.2771</b>	<b>1.2377</b>
Cloruro de magnesio	MgCl <sub>2</sub>	0.333	1	1.0543	1.2508	1.2954	1.2842
			2	1.0124	1.1836	1.2315	1.2457
			3	1.0251	1.1703	1.2448	1.2155
			<b>Promedio</b>	<b>1.0306</b>	<b>1.2016</b>	<b>1.2572</b>	<b>1.2485</b>
Carbonato de potasio	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0.432	1	1.0093	1.1117	1.2065	1.1707
			2	1.0072	1.1948	1.2345	1.179
			3	1.0522	1.218	1.2948	1.2542
			<b>Promedio</b>	<b>1.0229</b>	<b>1.1748</b>	<b>1.2453</b>	<b>1.2013</b>

**Tabla 40 — Variaciones de pesos de la harina de chuño blanco, hasta alcanzar la humedad de equilibrio (Xe) a 25°C**

Temperatura 25°C							
Soluciones salinas		Aw	Repetición	Día 0	Día 4	Día 8	Día 12
Cloruro de litio	LiCl	0.1142	1	1.0447	1.2241	1.2428	1.2587
			2	1.0248	1.1149	1.1378	1.1669
			3	1.0443	1.226	1.2566	1.2309
			<b>Promedio</b>	<b>1.0379</b>	<b>1.1883</b>	<b>1.2124</b>	<b>1.2188</b>
Acetato de potasio	KC <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub>	0.2367	1	1.0336	1.2482	1.2128	1.1369
			2	1.0604	1.1611	1.1666	1.1666
			3	1.0268	1.1612	1.2532	1.1908
			<b>Promedio</b>	<b>1.0403</b>	<b>1.1902</b>	<b>1.2109</b>	<b>1.1648</b>
Cloruro de magnesio	MgCl <sub>2</sub>	0.3287	1	1.0876	1.3758	1.2153	1.2145
			2	0.0078	0.2038	0.1432	0.1546
			3	1.0529	1.2635	1.276	1.3398
			<b>Promedio</b>	<b>0.7161</b>	<b>0.9477</b>	<b>0.8782</b>	<b>0.903</b>
Carbonato de potasio	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0.4432	1	1.0178	1.2588	1.2137	1.221
			2	1.0741	1.3116	1.2746	1.2252
			3	1.0238	1.2654	1.287	1.1745
			<b>Promedio</b>	<b>1.0386</b>	<b>1.2786</b>	<b>1.2584</b>	<b>1.2069</b>



**Tabla 41 — Variaciones de pesos de la harina de chuño blanco, hasta alcanzar la humedad de equilibrio (Xe) a 35 °C**

Temperatura 35°C							
Soluciones salinas		aw	Repetición	Día 0	Día 4	Día 8	Día 12
Cloruro de litio	LiCl	0.1081	1	1.003	1.2164	1.1684	1.157
			2	1.0951	1.3111	1.2158	1.2595
			3	1.0511	1.2708	1.2378	1.2015
			<b>Promedio</b>	<b>1.0497</b>	<b>1.2661</b>	<b>1.2073</b>	<b>1.206</b>
Acetato de potasio	CH <sub>3</sub> CO <sub>2</sub> K	0.2155	1	1.0364	1.2139	1.1179	1.1215
			2	1.0297	1.3255	1.2303	1.214
			3	1.0567	1.2318	1.1716	1.1579
			<b>Promedio</b>	<b>1.0409</b>	<b>1.2571</b>	<b>1.1733</b>	<b>1.1645</b>
Cloruro de magnesio	MgCl <sub>2</sub>	0.318	1	1.0423	1.2755	1.1585	1.134
			2	1.0741	1.2967	1.2157	1.2059
			3	1.0151	1.2415	1.223	1.1907
			<b>Promedio</b>	<b>1.0438</b>	<b>1.2712</b>	<b>1.1991</b>	<b>1.1769</b>
Carbonato de potasio	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0.4363	1	1.0252	1.254	1.215	1.1601
			2	1.034	1.2711	1.2266	1.1597
			3	1.0355	1.2191	1.1391	1.1435
			<b>Promedio</b>	<b>1.0316</b>	<b>1.2481</b>	<b>1.1936</b>	<b>1.1544</b>

**Tabla 42 — ANOVA para contenido de humedad de equilibrio a diferentes temperaturas de la harina de chuño blanco**

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)<0.05
Tratamiento (solución)	3	0.010326	0.003442	9.989	0.0095 **
Bloques (temperatura)	2	0.001004	0.000502	1.456	0.3051
Residuales	6	0.002067	0.000345		

Del cuadro se tiene que considerando a la solución como tratamiento el Pr (>F), es 0.0095 menor a 0.05 entonces se rechaza la hipótesis nula; por lo tanto, podemos afirmar con un nivel de confianza del 95% que la solución es significativa y por ende influye en la humedad de equilibrio (Xe).

Del cuadro se tiene que considerando a la temperatura como bloque el Pr ( $>F$ ), es 0.3051 mayor a 0.05 entonces se acepta la hipótesis nula; por lo tanto, podemos afirmar con un nivel de confianza del 95% que la temperatura no es significativa y por ende NO influye en la humedad de equilibrio ( $X_e$ ).

**Tabla 43 — Comparación de medias por Tukey para isoterma de adsorción: humedad de equilibrio ( $X_e$ ) (Anova indica que es significativo)**

Soluciones.	Respuesta	Std	R	Min	Max
S <sub>1</sub>	0.2104000	0.0267120	3	0.1827	0.2360
S <sub>2</sub>	0.2466667	0.0052444	3	0.2432	0.2527
S <sub>3</sub>	0.2709000	0.0146980	3	0.2540	0.2807
S <sub>4</sub>	0.2886667	0.0240529	3	0.2609	0.3031

Estudio: bloque 2 "tratamiento"

Prueba HSD para respuesta

Error cuadrático medio: 0.0003445769

Tratamiento, mesan

Alfa: 0.05; DF Error: 6

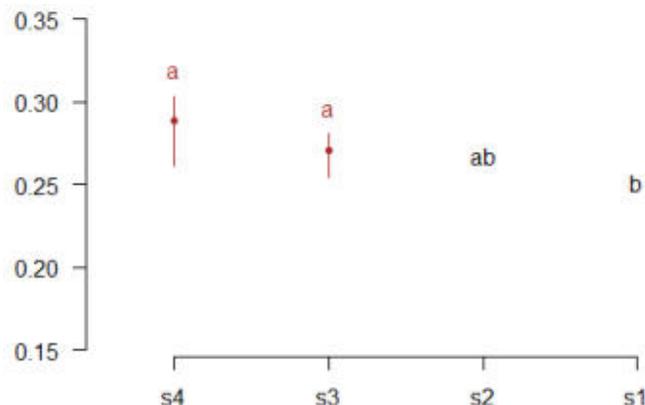
Valor crítico del rango estudentizado: 4.895599

Diferencia mínima significativa: 0.05246725

**Tabla 44 — Los tratamientos por tukey con la misma letra no son significativamente diferentes**

Soluciones	Respuesta	grupos
S <sub>4</sub>	0.2886667	a
S <sub>3</sub>	0.2709000	a
S <sub>2</sub>	0.2466667	ab
S <sub>1</sub>	0.2104000	b

Grupos y gama



**Figura 26 — Comparación de medias por Tukey para isoterma de adsorción: humedad de equilibrio ( $X_e$ ) (Anova indica que es significativo)**

De los resultados se aprecia que  $S_1$  es significativamente diferencia a  $S_4$ ,  $S_3$ ; por ende, el que tiene mayor media es  $S_4$  con 0.2886 y el que tiene menor media es  $S_1$  es 0.2104.

**Tabla 45 — Datos de los cálculos de índice de solubilidad en agua (ISA)**

Datos obtenidos para el cálculos de ISA				
Repeticiones	A	B	C	Cálculo de ISA
1	0.0029	7.8	0.6222	1.4542
2	0.0027	6.5	0.624	1.125
3	0.0036	7.8	0.6239	1.8003
4	0.0033	7.8	0.6249	1.6476
Promedio				1.5068

**Tabla 46 — Prueba de hipótesis de la media para índice de solubilidad en agua /Almidón de tunta**

95% superior							
Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	Bound	T	p-value
Índice de solubilidad en agua	4	1.507	0.291	0.146	1.850	-38.48	0.000

Prueba de muestra = 7.11 vs < 7.11



**Tabla 47 — Prueba de hipótesis de la media para índice de solubilidad en agua / Almidón de chuño**

95% superior							
Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	Bound	T	p-value
<b>Índice de solubilidad en agua</b>	4	1.507	0.291	0.146	1.850	-44.59	0.000

Prueba de muestra = 8 vs < 8

Del análisis se tiene que los p-value son 0.00 menor a 0.05 por ende son significativos, por lo tanto, podemos afirmar que la media del “índice de solubilidad en agua” es menor a la media de almidón de tunta como a la media de almidón de chuño.

**Tabla 48 — Datos de los cálculos de índice de absorción en agua (IAA)**

Datos obtenidos para el cálculo IAA			
Repeticiones	Peso de sedimento húmedo	Peso de muestra seca	Cálculo de IAA
1	0.9530	0.6222	1.5317
2	0.9613	0.624	1.5405
3	1.0926	0.6239	1.7512
4	0.9823	0.6249	1.5719
Promedio			1.5988

**Tabla 49 — Prueba de hipótesis de la media para índice de absorción de agua / Almidón de tunta**

95% superior							
Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	Bound	T	p-value
<b>Índice de absorción de agua</b>	4	1.5988	0.1031	0.0515	1.7201	5.61	0.994

Prueba de muestra = 1.31 vs < 1.3

**Tabla 50 — Prueba de hipótesis de la media para índice de absorción de agua / Almidón de chuño**

95% superior							
Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	Bound	T	p-value
<b>Índice de absorción de agua</b>	4	1.5988	0.1031	0.0515	1.7201	-13.41	0.000

Prueba de muestra = 2.29 vs < 2.29



Del análisis de almidón de tunta con el índice de absorción de agua se tiene un p-value de 0.994 mayor a 0.05 por ende no es significativo. Sin embargo almidón de chuño con el índice de absorción de agua se tiene un p-value de 0.00 menor a 0.05 por ende es significativo; podemos afirmar que la media del “índice de absorción de agua” es menor a la media de almidón de chuño.

**Tabla 51 — Datos de los Cálculos realizados para el poder de hinchamiento (PH)**

Datos obtenidos para el cálculo DE PH				
Repeticiones	Peso de sedimento húmedo	Peso de muestra seca	Peso de solidos disueltos	Cálculo de PH
1	0.9530	0.6222	0.0029	1.5288
2	0.9613	0.624	0.0027	1.5378
3	1.0926	0.6239	0.0036	1.7476
4	0.9823	0.6249	0.0033	1.5686
Promedio				1.5957

**Tabla 52 — Prueba de hipótesis de la media para poder de hinchamiento /Almidón de tunta**

95% superior							
Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	Bound	T	p-value
<b>Poder de hinchamiento</b>	4	1.5957	0.1027	0.0514	1.7166	-109.32	0.000

Prueba de muestra = 7.21 vs < 7.21

**Tabla 53 — Prueba de hipótesis de la media para poder de hinchamiento /Almidón de chuño**

95% superior							
Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	Bound	T	p-value
<b>Poder de hinchamiento</b>	4	1.5957	0.1027	0.0514	1.7166	-147.88	0.000

Prueba de muestra = 9.19 vs < 9.19

Del análisis de tiene que los p-value son 0.00 menor a 0.05 por ende son significativos, por lo tanto, podemos afirmar que la media del “poder de hinchamiento” es menor a la media de almidón de tunta como a la media de almidón de chuño.

**Tabla 54 — Datos obtenidos de temperatura de gelatinización (TG)**

Resultados obtenidos de temperatura de gelatinización de la harina de chuño blanco					
Numero de repetición	Peso de muestra seca	Temperatura	Resultados de gelatinización		
			1 minuto	3 minutos	5 minutos
1	5.0530	70	NO	NO	SI
2	5.0545	75	NO	SI	SI
3	5.0527	80	NO	SI	SI

**Tabla 55 — ANOVA para contenido de temperatura de gelatinización**

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)<0.05
Tratamiento (solución)	2	0.00e+00	0.00e+00	9.990e-01	0.445
Bloques (temperatura)	2	5.58e-06	2.79e-06	5.667e+25	2e-16
Residuales	4	0.00e+00	0.00e+00		

Del cuadro se tiene que considerando a la temperatura como tratamiento el Pr (>F) es 0.445 mayor a 0.05 entonces se acepta la hipótesis nula; por lo tanto, podemos decir que el factor temperatura no influye en el peso.

Del cuadro se tiene que considerando el tiempo como bloque el Pr (>F) 2e-16 es menor a 0.05 entonces se rechaza la hipótesis nula; por lo tanto, podemos afirmar con un nivel de confianza del 95% que el tiempo es significativo y por ende influye en el peso.

**Tabla 56 — Comparación de medias por Tukey para propiedades funcionales: temperatura de gelatinización (TG) (Anova indica que es significativo)**

Tiempo	Respuesta	std	r	Min	Max
1 min	5.053	0	3	5.0530	5.0530
3 min	5.0545	0	3	5.0545	5.0545
5 min	5.0527	0	3	5.0527	5.0527

Estudio: bloque 3 "bloques"

Prueba HSD para respuesta

Error cuadrático medio: 4.923647e-32

Bloques, mesan

Alfa: 0.05; DF Error: 4

Valor crítico del rango estudentizado: 5.040241

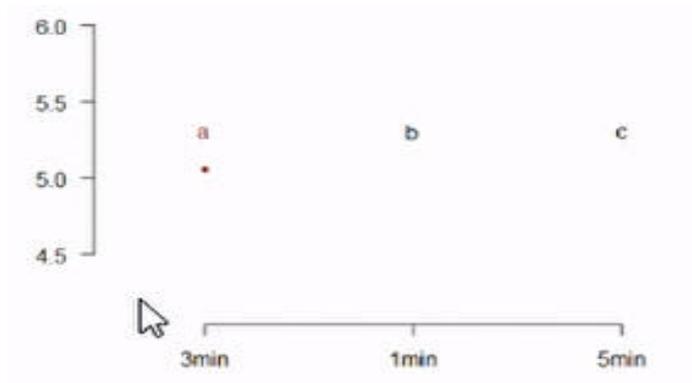


Diferencia mínima significativa: 6.45705e-16

**Tabla 57** — Los tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes

Tiempo	Respuesta/peso	grupos
3 min	0.2886667	a
1 min	0.2709000	b
5 min	0.2466667	c

Grupos y gama



**Figura 27** — Comparación de medias por Tukey para propiedades funcionales: temperatura de gelatinización (TG) (Anova indica que es significativo)

De los resultados se tiene que 3 min, es significativamente diferente de 1 min, con 5 min; así mismo la mayor media es de 3 min, con 5.0545 y la menor media es 5 min, con 5.0527.

Tabla 58 — Datos de variación de humedad en la vida útil

30 °C					
Tratamiento	Repeticiones	p.b.v.	p.m.	p.b.v. - p.m.s.	% Humedad
Semana 0	1	4.1570	25.0143	29.1713	
Semana 0	2	4.2647	25.0880	29.3527	
Semana 0	3	4.2152	25.1051	29.3203	
Semana 0	4	4.2542	25.0864	29.3406	
<b>Promedio</b>		<b>4.2228</b>	<b>25.0735</b>	<b>29.2962</b>	<b>0.8375</b>
Semana 7	1	4.1570	29.2171	25.0601	
Semana 7	2	4.2647	29.3016	25.0369	
Semana 7	3	4.2152	29.3769	25.1617	
Semana 7	4	4.2542	29.4890	25.2348	
<b>Promedio</b>		<b>4.2228</b>	<b>29.3462</b>	<b>25.1234</b>	<b>0.1991</b>
Semana 14	1	4.1570	29.2677	25.1107	
Semana 14	2	4.2647	29.3680	25.1033	
Semana 14	3	4.2152	29.4650	25.2498	
Semana 14	4	4.2542	29.5260	25.2718	
<b>Promedio</b>		<b>4.2228</b>	<b>29.4067</b>	<b>25.1839</b>	<b>0.4405</b>
Semana 21	1	4.1570	29.3317	25.1747	
Semana 21	2	4.2647	29.4450	25.1803	
Semana 21	3	4.2152	29.4602	25.245	
Semana 21	4	4.2542	29.5671	25.3129	
<b>Promedio</b>		<b>4.2228</b>	<b>29.4510</b>	<b>25.2282</b>	<b>0.6173</b>
Semana 28	1	4.1570	29.3912	25.2342	
Semana 28	2	4.2647	29.5166	25.2519	
Semana 28	3	4.2152	29.5108	25.2956	
Semana 28	4	4.2542	29.6414	25.3872	
<b>Promedio</b>		<b>4.2228</b>	<b>29.5150</b>	<b>25.2922</b>	<b>0.8725</b>
40 °C					
Semana 0	1	4.1064	25.0933	29.1997	
Semana 0	2	4.2448	25.0699	29.3147	
Semana 0	3	4.2410	25.0664	29.3074	
Semana 0	4	4.2880	25.0552	29.3432	



<b>Promedio</b>		<b>4.2201</b>	<b>25.0712</b>	<b>29.2913</b>	<b>0.8375</b>
Semana 7	1	4.1064	29.8486	25.7422	
Semana 7	2	4.2448	29.9945	25.7497	
Semana 7	3	4.2410	29.3178	25.0768	
Semana 7	4	4.2880	29.3796	25.0916	
<b>Promedio</b>		<b>4.2201</b>	<b>29.6351</b>	<b>25.4151</b>	<b>1.3716</b>
Semana 14	1	4.1064	29.8879	25.7815	
Semana 14	2	4.2448	29.9839	25.7391	
Semana 14	3	4.2410	29.7104	25.4694	
Semana 14	4	4.2880	29.8099	25.5219	
<b>Promedio</b>		<b>4.2201</b>	<b>29.8480</b>	<b>25.6280</b>	<b>2.2208</b>
Semana 21	1	4.1064	29.8981	25.7917	
Semana 21	2	4.2448	29.9840	25.7392	
Semana 21	3	4.2410	29.7818	25.5408	
Semana 21	4	4.2880	29.8690	25.5810	
<b>Promedio</b>		<b>4.2201</b>	<b>29.8832</b>	<b>25.6632</b>	<b>2.3612</b>
Semana 28	1	4.1064	29.8988	25.7924	
Semana 28	2	4.2448	29.9843	25.7395	
Semana 28	3	4.2410	29.7720	25.5310	
Semana 28	4	4.2880	29.8890	25.6010	
<b>Promedio</b>		<b>4.2201</b>	<b>29.8860</b>	<b>25.6660</b>	<b>2.3723</b>
<b>50 °C</b>					
Semana 0	1	4.3282	25.1007	29.4289	
Semana 0	2	4.3541	25.0933	29.4474	
Semana 0	3	4.1103	25.0793	29.1896	
Semana 0	4	4.2172	25.1214	29.3386	
<b>Promedio</b>		<b>4.2525</b>	<b>25.0987</b>	<b>29.3511</b>	<b>0.8375</b>
Semana 7	1	4.3282	29.4575	25.1293	
Semana 7	2	4.3541	29.4871	25.1330	
Semana 7	3	4.1103	29.2270	25.1167	
Semana 7	4	4.2172	29.3537	25.1365	
<b>Promedio</b>		<b>4.2525</b>	<b>29.3813</b>	<b>25.1289</b>	<b>0.1203</b>
Semana 14	1	4.3282	29.4924	25.1642	
Semana 14	2	4.3541	29.6671	25.3130	



Semana 14	3	4.1103	29.1923	25.0820	
Semana 14	4	4.2172	29.3636	25.1464	
<b>Promedio</b>		<b>4.2525</b>	<b>29.4289</b>	<b>25.1764</b>	<b>0.3097</b>
Semana 21	1	4.3282	29.4845	25.1563	
Semana 21	2	4.3541	29.6375	25.2834	
Semana 21	3	4.1103	29.8560	25.7457	
Semana 21	4	4.2172	29.3937	25.1765	
<b>Promedio</b>		<b>4.2525</b>	<b>29.5929</b>	<b>25.3405</b>	<b>0.9634</b>
Semana 28	1	4.3282	29.5991	25.2709	
Semana 28	2	4.3541	29.6669	25.3128	
Semana 28	3	4.1103	29.5960	25.4857	
Semana 28	4	4.2172	29.4969	25.2797	
<b>Promedio</b>		<b>4.2525</b>	<b>29.5897</b>	<b>25.3373</b>	<b>0.9506</b>

p.b.v, Peso de bolsa vacía; p.m., peso de muestra; p.b.v. - p.m.s., peso de bolsa vacía menos peso de muestra vacía

**Tabla 59 — ANOVA para contenido de variación de humedad de vida útil**

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Tratamiento (tiempo)	4	1.416	0.3541	1.962	0.1936
Bloques (temperatura)	2	4.948	2.4742	13.707	0.0026
Residuals	8	1.444	0.1805		

Del cuadro se tiene que considerando al tiempo como tratamiento el Pr(>F) es 0.1936 mayor a 0.05 entonces se acepta la hipótesis nula respecto al tiempo; por lo tanto, podemos afirmar con un nivel de confianza del 95% que el tiempo no es significativa y por ende no influye en la variación de humedad.

Del cuadro se tiene que considerando a la temperatura como bloque el Pr (>F) es 0.0026 menor a 0.05 entonces se rechaza la hipótesis nula; por lo tanto, podemos afirmar con un nivel de confianza del 95% que la temperatura es significativa y por ende influye en la variación de humedad.



**Tabla 60 — Comparación de medias por Tukey para vida útil: variación de humedad Para bloques (Anova indica que es significativo)**

Tiempo	Respuesta 1	std	r	Min	Max
T30 °C	0.59338	0.2814710	5	0.1991	0.8725
T40 °C	1.83268	0.6935666	5	0.8375	2.3723
T50 °C	0.63630	0.3934412	5	0.1203	0.9634

Estudio: bloque 3 "bloque"

Prueba HSD para respuesta 1

Error cuadrático medio: 0.1804994

Bloques, means

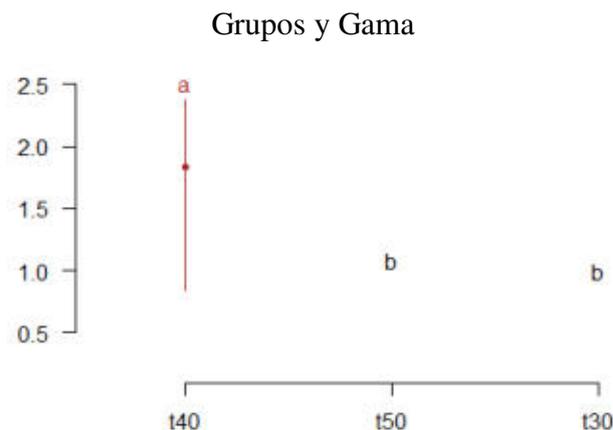
Alfa: 0.05; DF Error: 8

Valor crítico del rango estudentizado: 4.041036

Diferencia mínima significativa: 0.7677957

**Tabla 60 — Los tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes**

Tiempo	Respuesta 1	grupos
T40	1.83268	a
T50	0.63630	b
T30	0.59338	b



**Figura 28 — Comparación de medias por Tukey para vida útil: variación de humedad para bloques (Anova indica que es significativo)**

De los resultados se tiene que el bloque T40 °C es significativamente diferente de T50 °C y T30°C; por ende el que tiene mayor media es T40°C con 1.8326 y el que tiene menor media es T30 °C con 0.5933.

**Tabla 60 — Datos de variación de acidez en la vida útil**

30 °C									
Tratamiento	p.m.i.	Vg(a)	Vb(a)	Vg(b)	Vb(b)	NaOH	% acidez (a)	% acidez (b)	Promedio
Semana 1	9.0379	3	0.1	2.51	0.1	0.1	0.1572	0.1307	0.1439
Semana 2	9.2137	3.7	0.1	3.9	0.1	0.1	0.1915	0.2021	0.1968
Semana 3	9.0384	3.5	0.1	3.3	0.1	0.1	0.1843	0.1735	0.1789
Semana 4	9.0368	3.2	0.1	2.8	0.1	0.1	0.1681	0.1464	0.1572
40 °C									
Semana 1	9.0177	3.5	0.1	3.4	0.1	0.1	0.1847	.1793	0.1820
Semana 2	9.2133	3.6	0.1	4.1	0.1	0.1	0.1861	0.2127	0.1994
Semana 3	9.0230	3.4	0.1	3.7	0.1	0.1	0.1792	0.1955	0.1874
Semana 4	9.0199	2.85	0.1	2.95	0.1	0.1	0.1494	0.1548	0.1521
50 °C									
Semana 1	9.0684	3	0.1	2.6	0.1	0.1	0.1567	0.1351	0.1459
Semana 2	9.28425	3.9	0.1	4.3	0.1	0.1	0.2006	0.2217	0.2111
Semana 3	9.04875	3.4	0.1	3.6	0.1	0.1	0.1787	0.1895	0.1841
Semana 4	9.02795	3.1	0.1	3.6	0.1	0.1	0.1628	0.1900	0.1764

p.m.i., peso de muestra inicial; Vg(a)(b), volumen gasto; Vb(a)(b), volumen blanco

**Tabla 61 — ANOVA para contenido de acidez en la vida útil**

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Tratamiento (tiempo)	4	0.07857	0.019642	122.741	3.26e-07
Bloques (temperatura)	2	0.00026	0.000129	0.809	0.479
Residuals	8	0.00128	0.000160		

Del cuadro se tiene que considerando al tiempo como tratamiento el Pr (>F) es 3.26e-07 menor a 0.05 entonces se rechaza la hipótesis nula; por lo tanto podemos afirmar con un nivel de confianza del 95% que el tiempo es significativa y por ende influye en la variación de humedad.

Del cuadro se tiene que considerando a la temperatura como bloque el  $Pr (>F)$  es 0.479 mayor a 0.05 entonces se acepta la hipótesis nula; por lo tanto podemos afirmar con un nivel de confianza del 95% que la temperatura no es significativa y por ende no influye en la variación de humedad.

**Tabla 62 — Comparación de medias por Tukey para vida útil: variación de acidez (Anova indica que es significativo)**

Días	Respuesta 2	std	r	Min	Max
d0	0.0000000	0.000000000	3	0.0000	0.0000
d14	0.2024333	0.007617305	3	0.1968	0.2111
d21	0.1834667	0.004285246	3	0.1789	0.1874
d28	0.1619000	0.012813665	3	0.1521	0.1764
d7	0.1581667	0.023000290	3	0.1439	0.1847

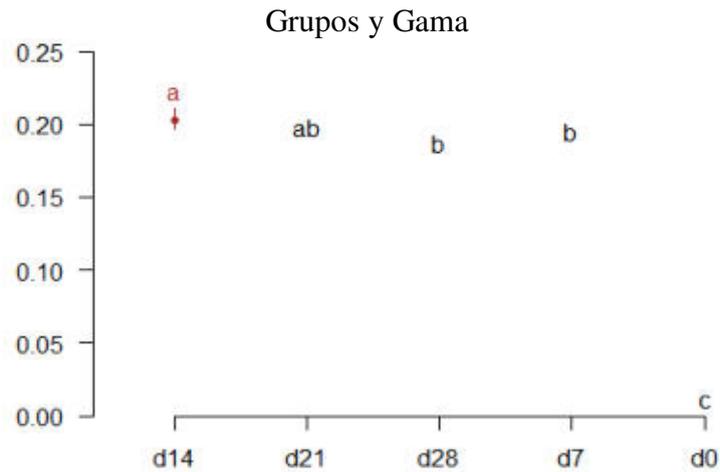
Estudio: bloque 4 "tratamiento"  
 Prueba HSD para respuesta 2  
 Error cuadrático medio: 0.0001600313  
 Tratamiento, means

Alfa: 0.05; DF Error: 8  
 Valor crítico del rango estudentizado: 4.885754  
 Diferencia mínima significativa: 0.035684

**Tabla 63 — Los tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes**

Días	Respuesta 2	grupos
d14	0.2024333	a
d21	0.1834667	ab
d28	0.1619000	b
d7	0.1581667	b
d0	0.0000000	c





**Figura 29 — Comparación de medias por Tukey para vida útil: variación de acidez (Anova indica que es significativo)**

De los resultados se tiene que existe diferencias significativas entre d14 con d28 y d7; en tal sentido el que tiene mayor media es d14 con 0.2024 y el que tiene menor media es d7 con 0.1581.

## Anexo 2

Resumen del proceso de análisis de isoterma de adsorción a temperaturas de 15 °C, 25 °C y 35 °C



Figura 30 — Acondicionamiento, construcción de Trípodes y rotulación de los pots de vidrio



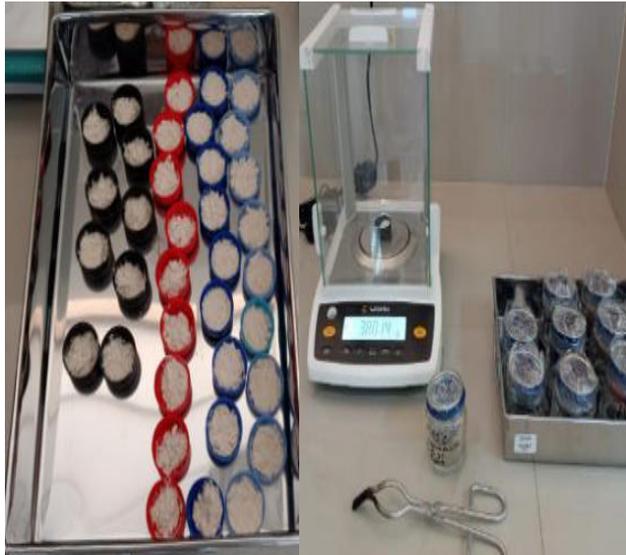
Figura 31 — Esterilización de los pots de vidrio



Figura 32 — Proceso de secado de la harina de chuño blanco



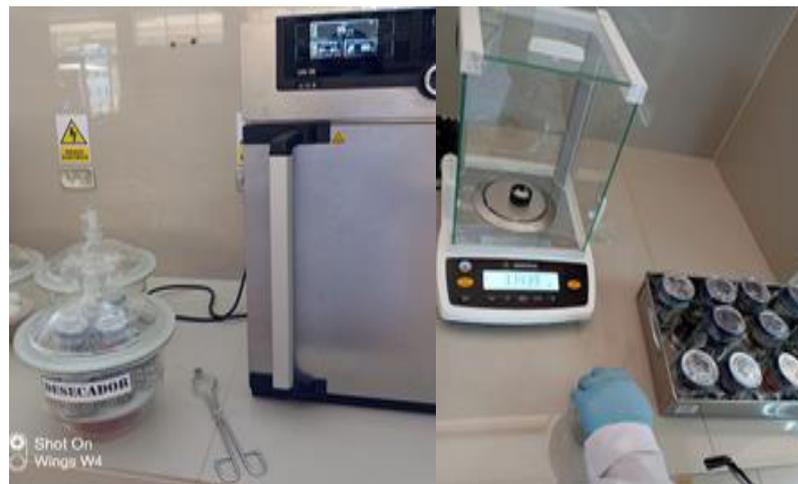
Figura 33 — Preparación de soluciones salinas



**Figura 34 — Pesado inicial de las muestras y del recipiente contenedor de las muestras**



**Figura 35 — Almacenamiento de muestras en estufas a diferentes temperaturas**



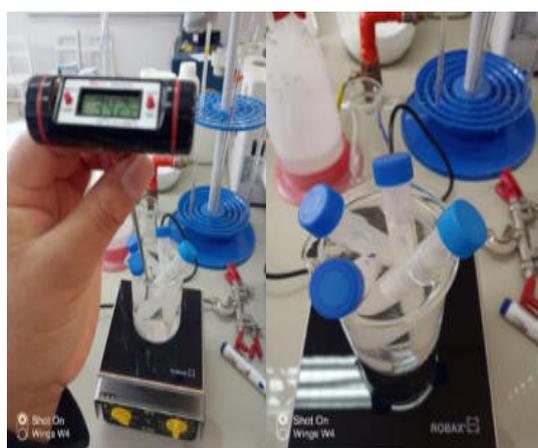
**Figura 36 — Retirado de las muestras secas de harina de chuño de las diferentes humedades relativas para su posterior pesado, periódico de las muestras secas hasta alcanzar el equilibrio**

### Anexo 3

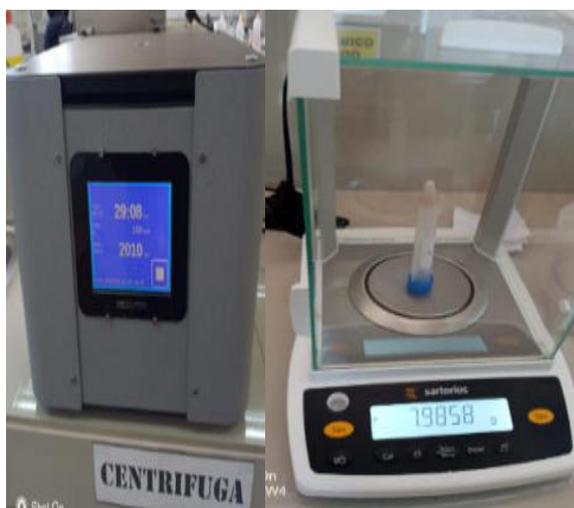
Resumen del proceso de análisis de propiedades funcionales, Índice de Absorción en Agua (IAA), índice de Solubilidad en Agua (ISA), Poder de Hinchamiento (PH) y temperatura de gelatinización (TG)



**Figura 37** — Análisis de temperatura de gelatinización



**Figura 38** — Muestras de harina colocados en baño maría a 30°C por 30 minutos



**Figura 39** — Muestras llevadas a centrifuga y el secado de solución de sobrenadante en estufa 105°C



**Figura 40**— Peso del sedimento en base húmeda

## Anexo 4

### Análisis de la determinación de acidez y vida útil en la harina de chuño blanco



**Figura 41 — Muestras colocadas a baño maría y Titulación de muestras**



**Figura 42 — Pesado de empaques vacíos y Pesado de muestras**



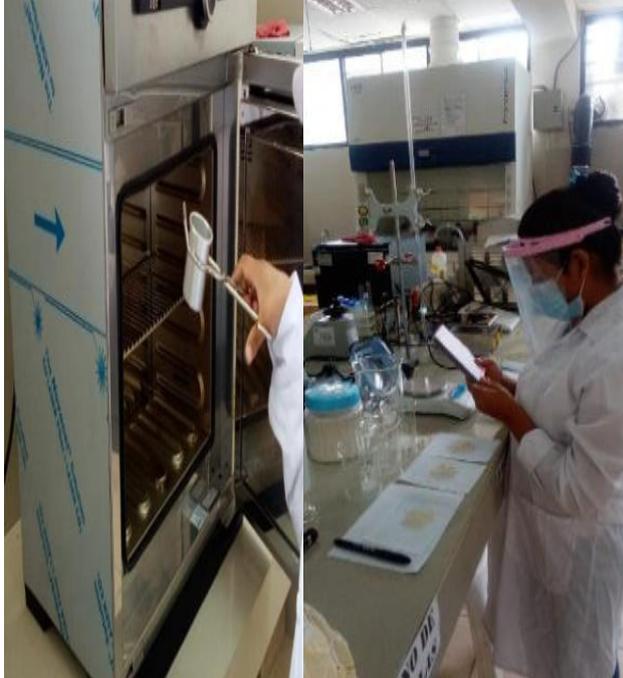
**Figura 43 — Sellado y codificado de las muestras**



**Figura 44 — Monitoreo de las temperaturas de 30, 40, y 50 °C**

## Anexo 5

### Análisis de la determinación de grasa total en la harina de chuño blanco



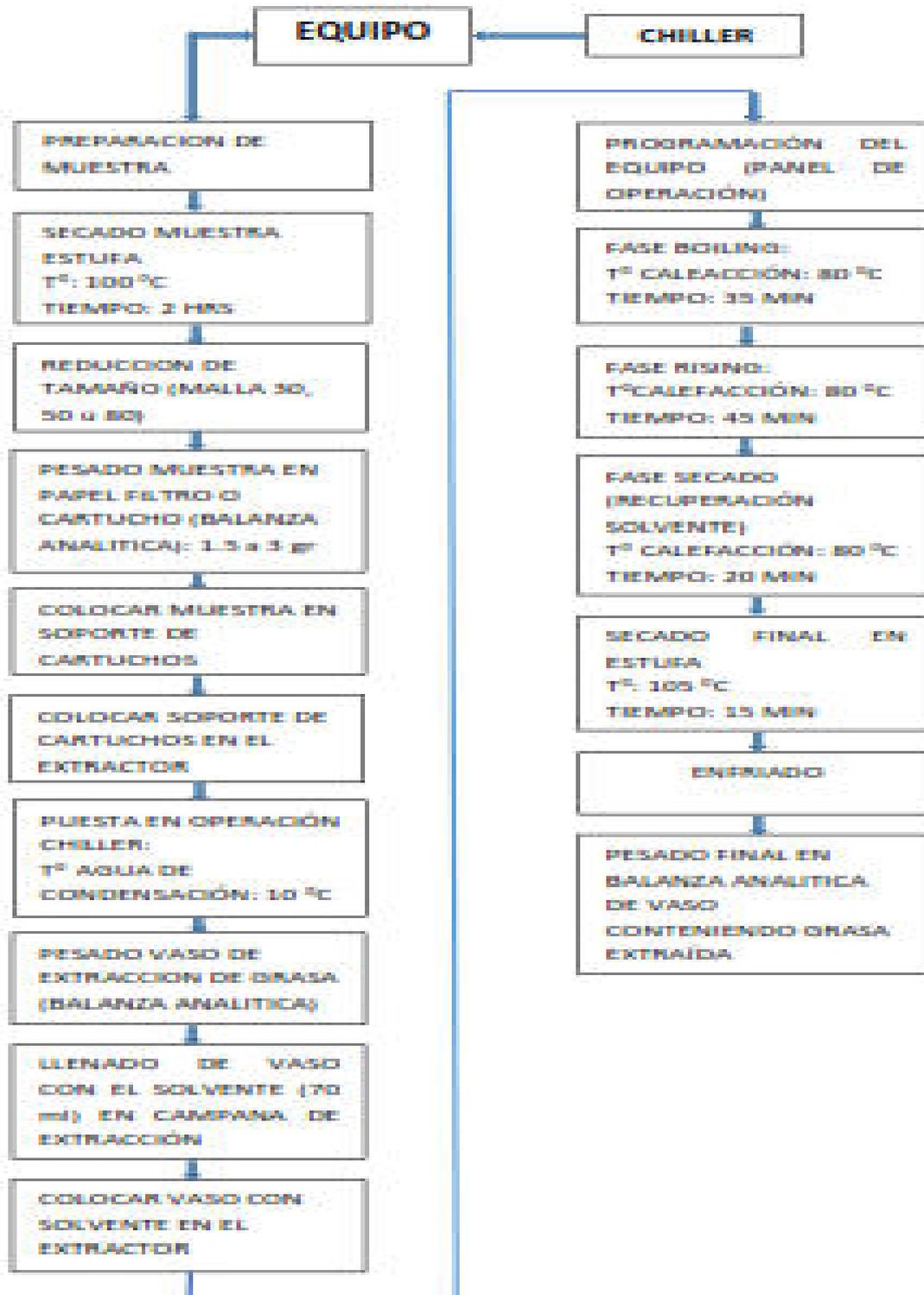
**Figura 45 — Esterilización de cartucho y Homogenización de las muestras.**



**Figura 46 — Filtración de la muestra y Extracción de**

## Anexo 6

Flujograma de determinación de grasa total: equipo JP selecta (MODELO: DET-GRAS N) solvente: éter de petróleo grado: 35–60 °C



## Anexo 7

### Ficha técnica de harina de chuño

	<b>FICHA TÉCNICA</b>	<b>Código:</b> GT-F-40
		<b>Fecha:</b> 06/08/2018
	<b>Versión:</b> 03	<b>Páginas:</b> 1 de 1

**Número de revisión:** 001 **Declaración de fecha de revisión:** 15/08/2018

**Título:** ALMIDÓN DE PAPA

**Nombre químico:** Almidón de Papa

**Otros nombres:** Fécula de papa o patata o chuño

**UN:** N.A **Calidad:** FG

**Descripción:** Es un almidón nativo 100% de papa (*solanum tuberosum*). Por su alta calidad es utilizado en el sector alimenticio para la fabricación de embutidos y la panificación como espesante ligador, así como en el sector industrial y textil como adhesivo entre otras múltiples aplicaciones.

**Vencimiento:** Bajo condiciones de almacenaje óptimas y en sacos cerrados la vida útil es de hasta 2 años

#### 1. CARACTERÍSTICAS SENSORIALES

<b>Color :</b>	Blanco
<b>Olor :</b>	Característico de la papa
<b>Sabor :</b>	Característico de la papa
<b>Aspecto:</b>	Polvo fino homogéneo

#### 2. PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS Y BACTERIOLÓGICAS

DETERMINACIÓN	RESULTADO	UNIDADES	METODOLOGÍA
Humedad	10,60 – 14,34	%	NOM 116 SSA 1 1994
Ceniza	0,5	%	NMX F 607 NORMEX 2002
pH a 25°C	7,63		NMX-F-245-1983
Densidad	0,91	g/cc	PICNOMETRO (m-v)
Part. Quemadas	< 1	g/g	
Part. Cristalizadas	< 1	g/g	
Granulometría	< 2	%	
B. Mesof. Aerobias	5500	u.f./g	NOM 092 SSA 1 1994
O. Coliformes Totales	< 3	n.m./g	NOM 145 SSA 1 1995
Hogos	100	u.f./g	NOM 111 SSA 1 1994
Levaduras	70	u.f./g	NOM 111 SSA 1 1994
Salmonella	Negativo		NOM 114 SSA 1 1994
Escherichia Coli	Negativo		NOM 145 SSA 1 1995

#### 3. PRESENTACIÓN Y MANEJO

**Presentación:** Saco de papel Kraft valvulado de 25Kg. Super saco de polipropileno laminado de 1000 Kg.

**Manejo:** Almacenar en lugar fresco y seco a menos de 30 °C, alejado de fuentes de calor y olores extraños. Evite generar nubes de polvo en lugares cerrados

**Nota:** El uso final del producto es responsabilidad directa del cliente, la información consignada en este documento es sólo de carácter ilustrativo y fue tomada de distintas fuentes bibliográficas por nuestro departamento técnico. Estos datos no representan responsabilidad legal alguna y no eximen al comprador de hacer sus propios análisis e investigaciones.

Productos Químicos al por Mayor y al Detalle – Artículos para Laboratorio y Reactivos  
 Implementos de Protección Personal – Fragancias y Sabores – Productos para el Aseo y Limpieza  
 Dirección: Cta. 52 km 8.5 Sur (Mazán) – Colonia Páez – (011) (5) 444-8980

E-mail: [serviciocliente@protokimica.com](mailto:serviciocliente@protokimica.com) Web: [www.protokimica.com](http://www.protokimica.com)

## Anexo 8

### Certificado de análisis de almidón de chuño y tunta



MINISTERIO DE AGRICULTURA  
 INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA-INIA  
 LABORATORIO DE ANALISIS  
 ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO  
 ANEXO SALCEDO  
 Ofic. Principal: Av La Molina 1981-La Molina Lima



#### CERTIFICADO DE ANALISIS N°1707-2011

SOLICITANTE : Yuri Lipa Sosa.  
 Mónica Néilda Maquera Ccalle.  
 DIRECCION : Puno.  
 PROCEDENCIA : Almudón de Chuño y Tunta.  
 PRODUCTO : Amilosa y amilopectina.  
 TIPO DE ANALISIS : 01.  
 N° DE ANALISIS : 07 de Noviembre del 2011.  
 FECHA DE RECEPCIÓN : 11 de Noviembre del 2011.  
 FECHA DE CERTIFICACIÓN :

Determinaciones	Almidón Químicamente Puro	Almidón Químicamente Puro	Almidón Químicamente Puro	Chuño Negro	Chuño Negro	Chuño Negro	Chuño Blanco	Chuño Blanco	Chuño Blanco
Amilosa %	0.10	0.09	0.10	21.10	20.78	21.60	22.18	21.74	22.66
Amilopectina %	99.90	99.99	99.98	79.00	79.24	78.99	77.65	78.24	77.12

#### Normas ó Métodos de ensayo utilizados en el Laboratorio:

Determinación de amilosa y amilopectina con Hidróxido de Sodio 1 N Lectura en Espectrofotómetro a 620 nm Técnica usada (ISO 1987).

#### Conclusiones:

La muestra analizada de Almidón Chuño y Tunta CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales.

#### Nota:

Cualquier corrección y/o enmendadura anula al presente documento. (El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo).



INIA  
 ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO

Ing<sup>a</sup> JORGE CANIHUA ROJAS  
 Jefe Laboratorio Análisis  
 ILLPA - PUNO

Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin el permiso del Laboratorio.

ILLPA : Carretera Puno - Juliaca , Km. 22 Telf. (051) 62-2779  
 PUNO (Sede): Rinconada de Salcedo, Telefax (051) 36-3812 Cel. (051) 62-2760  
 e-mail : [illpa@inia.gob.pe](mailto:illpa@inia.gob.pe), [jcanihua@inia.gob.pe](mailto:jcanihua@inia.gob.pe).

## Anexo 9

### Norma INEN 1887 determinación humedad carbonato de sodio

Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	HARINAS DE ORIGEN VEGETAL DETERMINACIÓN DE LA ACIDEZ TITULABLE	NTE INEN 521:2013 Primera revisión 2013-09
<p style="text-align: center;"><b>1. OBJETO</b></p> <p>1.1 Esta norma describe el método para determinar el contenido de acidez titulable en las harinas de origen vegetal.</p> <p style="text-align: center;"><b>2. DEFINICIONES</b></p> <p>2.1 <b>Acidez titulable.</b> Es la acidez de la harina de origen vegetal expresada convencionalmente como ácido sulfúrico y determinada mediante procedimientos normalizados.</p> <p style="text-align: center;"><b>3. MÉTODO DE ENSAYO</b></p> <p><b>3.1 Resumen</b></p> <p>3.1.1 Se titula la acidez como una solución estandarizada de hidróxido de sodio, usando fenoftaleína como indicador.</p> <p><b>3.2 Equipos</b></p> <p>3.2.1 Matraz Erlenmeyer con tapón esmerilado, de 100 cm<sup>3</sup>.</p> <p>3.2.2 Matraz Erlenmeyer, de 50 cm<sup>3</sup>.</p> <p>3.2.3 Pipetas, de 10 y de 25 cm<sup>3</sup>.</p> <p>3.2.4 Bureta, de 25 cm<sup>3</sup>, con divisiones de 0,05 cm<sup>3</sup> ó de 0,1 cm<sup>3</sup>.</p> <p><b>3.3 Reactivos y materiales</b></p> <p>3.3.1 Solución 0,02 N de hidróxido de sodio, debidamente estandarizada.</p> <p>3.3.2 Solución Indicadora de fenoftaleína. Disolver 0.1 g de fenoftaleína en 100 cm<sup>3</sup> de alcohol etílico de 90% (V/V).</p> <p>3.3.3 Alcohol etílico de 90% (V/V). Neutralizado.</p> <p><b>3.4 Preparación de la muestra</b></p> <p>3.4.1 Las muestras para el ensayo deben estar acondicionados en recipientes herméticos, limpios, secos (vidrio plástico u otro material inoxidable), completamente llenos para evitar que se formen espacios de aire.</p> <p>3.4.2 La cantidad de muestra de la harina de origen vegetal extraída dentro de un lote determinado debe ser representativa y no debe exponerse al aire mucho tiempo.</p> <p>3.4.3 Se homogeniza la muestra invirtiendo varias veces el recipiente que la contiene.</p> <p><b>3.5 Procedimiento</b></p> <p>3.5.1 La determinación debe realizarse por duplicado sobre la misma muestra preparada.</p> <p style="text-align: right;">(Continúa)</p>		
<p>DESCRPTORES: Harina, acidez titulable, determinación, origen vegetal.</p>		



**3.5.2** Pesar, con aproximación al 0,1 mg, 5 g de la harina de origen vegetal y transferir al matraz Erlenmeyer de 100 cm<sup>3</sup>.

**3.5.3** Agregar lentamente 50 cm<sup>3</sup> de alcohol de 90% (V/V) neutralizado, lavar el matraz Erlenmeyer y agitar fuertemente.

**3.5.4** Dejar en reposo durante 24 h, agitando de vez en cuando.

**3.5.5** Tomar con la pipeta una alícuota del 10 cm<sup>3</sup> del líquido claro sobrenadante y transferir al matraz Erlenmeyer de 50 cm<sup>3</sup>; agregar 2 cm<sup>3</sup> de la solución indicadora de fenoftaleína.

**3.5.6** Agregar lentamente y con agitación la solución 0,02 N de hidróxido de sodio, hasta conseguir un color rosado que desaparece poco a poco.

**3.5.7** Continuar agregando la solución hasta que el color rosado persista durante 30 s.

**3.5.8** Leer en la bureta el volumen de solución empleada, con aproximación a 0,05 cm<sup>3</sup>.

### **3.6 Cálculos**

**3.6.1** La acidez titulable en harinas de origen vegetal, en base seca, se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$A = \frac{490 NV}{m(100 - H)} \times \frac{V_1}{V_2}$$

En donde:

A = contenido de acidez en las harinas de origen vegetal, en porcentaje de masa de ácido sulfúrico.

N = normalidad de la solución de hidróxido de sodio.

V = volumen de la solución de hidróxido de sodio empleado en la titulación, en cm<sup>3</sup>.

V<sub>1</sub> = volumen del alcohol empleado en cm<sup>3</sup>. (50 cm<sup>3</sup>)

V<sub>2</sub> = volumen de la alícuota tomada para la titulación, en cm<sup>3</sup>. (10 cm<sup>3</sup>)

m = masa de la muestra, en g.

H = porcentaje de humedad en la muestra.

### **3.7 Errores de método**

**3.7.1** La diferencia entre los resultados de una determinación efectuada por duplicado no debe exceder de 0,05%; en caso contrario, debe repetirse la determinación.

### **3.8 Informe de resultados**

**3.8.1** Como resultado final, debe reportarse la media aritmética de los dos resultados de la determinación aproximada a centésimas.

**3.8.2** En el informe de resultados, deben indicarse el método usado y el resultado obtenido. Debe mencionarse, además, cualquier condición con especificada en esta norma o considerada como opcional, así como cualquier circunstancia que pueda haber influido sobre el resultado.

**3.8.3** Deben incluirse todos los detalles necesarios para la completa identificación de la muestra.

(Continúa)