

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



**“EVALUACIÓN DEL FENÓMENO DE AGLOMERACIÓN EN  
ALIMENTOS INSTANTÁNEOS A BASE DE CEREALES ANDINOS”**

**TESIS**

**PRESENTADO POR**

**ROXANA VIOLETA QUILLE QUILLE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**PUNO - PERÚ**

**2014**

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

**“EVALUACIÓN DEL FENÓMENO DE AGLOMERACIÓN EN ALIMENTOS  
INSTANTÁNEOS A BASE DE CEREALES ANDINOS”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR**

**ROXANA VIOLETA QUILLE QUILLE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:**

**PRESIDENTE** : .....  
Ph.D. Juan Marcos Aro Aro

**PRIMER MIEMBRO** : .....  
M.Sc. Genny Isabel Luna Mercado

**SEGUNDO MIEMBRO** : .....  
Ing. Saire Roenfi Guerra Lima

**DIRECTOR DE TESIS** : .....  
Dr. Wenceslao Teddy Medina Espinoza

**PUNO – PERÚ**

**2014**

**Área: Ingeniería y tecnología**  
**Tema: Propiedades físicas y estructurales**

## DEDICATORIA

*A DIOS por iluminarme en todo momento y por rodearme de todas aquellas personas que me ayudaron e hicieron posible culminar mis estudios universitarios.*

*Con todo mi cariño y mi amor para las personas que me dieron vida y creyeron en mí, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta, a ustedes por siempre mi corazón.*

*Papá y mamá*

*A mis hermanos Lenin, Edwin y Sandra María, Gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida.*

*“La dicha de la vida consiste en tener siempre algo que hacer, alguien a quien amar y alguna cosa que esperar” Thomas Chalmers*

## AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Wenceslao Teddy Medina Espinoza por la paciencia, por haber confiado en mí, por la orientación profesional en la planificación, ejecución y culminación de la presente tesis.

Al M.Sc. F. Victor Choquehuanca Cáceres por sus consejos y el apoyo que me brindó. Y a los miembros del jurado por sus comentarios en todo el proceso de elaboración de la Tesis y sus atinadas correcciones.

A los laboratoristas: Sr. Rufino y Sr. Pablo por brindarme su apoyo incondicional y amistad; pero sobre todo por proporcionarme todas las facilidades necesarias en los laboratorios.

A mis amigas y compañeros de estudio, por los gratos momentos compartidos y por su valioso apoyo moral durante los años de estudio.

A todos ellos se los agradezco desde el fondo de mi alma



## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
RESUMEN.	
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. ALIMENTOS INSTANTÁNEOS.....	3
2.2. EXTRUSIÓN DE ALIMENTOS.....	3
2.2.1. EFECTO DE LA EXTRUSIÓN SOBRE LOS ALIMENTOS.....	4
2.2.1.1. Componentes del almidón que intervienen en la expansión.....	5
2.2.2. ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA EN LOS EXTRUIDOS.....	5
2.2.3. GRADO DE GELATINIZACIÓN.....	6
2.2.4. PRODUCTOS CON CEREALES ANDINOS EN EL MERCADO.....	7
2.2.4.1. Nesquik cereales andinos.....	7
2.2.4.2. Ecco con cereales andinos.....	8
2.2.4.3. Productos extruidos a base de quinua.....	8
2.2.4.3.1. Harina instantánea de quinua.....	9
2.3. EL MECANISMO DE LA AGLOMERACIÓN.....	10
2.3.1. ETAPAS DE LA AGLOMERACIÓN.....	11
2.3.1.1. Puentes de sinterización entre las partículas amorfas.....	14
2.3.2. ÍNDICE DE AGLOMERACIÓN.....	15
2.3.3. LA AGLOMERACIÓN EN ALIMENTOS EN POLVO.....	18

2.3.3.1. Los carbohidratos.....	20
2.3.3.2. Alimentos en polvo basado en proteínas.....	21
2.3.4. LOS PRINCIPIOS DE ADHESIÓN RELEVANTES DURANTE LA AGLOMERACIÓN .....	21
2.4. HIGROSCOPICIDAD DE LAS SUSTANCIAS SOLUBLES EN AGUA.....	22
2.5. HIGROSENSIBILIDAD.....	22
2.6. CONTROL DE LA TEMPERATURA.....	24
2.6.1 HORNOS ELÉCTRICOS.....	24
2.7. PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES.....	25
2.7.1. TIPOS DE IMÁGENES EN MATLAB.....	25
2.7.1.1. Imágenes a escala de grises.....	26
2.7.1.2. Imágenes binarias.....	26
2.7.1.3. Imágenes de color RGB.....	27
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN.....	28
3.2. MATERIAL EXPERIMENTAL.....	28
3.3. MATERIALES Y EQUIPOS.....	28
3.3.1. Materiales.....	28
3.3.2. Sustancias.....	29
3.3.3. Equipos.....	29
3.3.4. Software.....	30
3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	30
3.4.1. ARREGLO EXPERIMENTAL.....	31
3.4.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO EXPERIMENTAL.....	33
3.4.2.1. Recepción de la muestra.....	34

3.4.2.2. Acondicionamiento de la muestra.....	34
3.4.2.3. Muestreo.....	34
3.4.2.4. Adquisición de las imágenes.....	34
3.4.2.5. Procesamiento de las imágenes.....	35
3.4.2.6. Análisis: Área proyectada de las partículas.....	36
3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	37
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	40
4.1. DEL DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA PARA EL CONTROL DE LA TEMPERATURA.....	40
4.1.1. SISTEMA MECÁNICO.....	40
4.1.2. PRUEBA DEL SISTEMA.....	43
4.2. DEL COMPORTAMIENTO DEL FENÓMENO DE AGLOMERACIÓN IDENTIFICADAS EN LAS PARTÍCULAS.....	45
4.3. DEL ÍNDICE DE AGLOMERACIÓN.....	54
4.3.1. CAMBIO DE ÁREA DE LAS PARTÍCULAS.....	54
4.3.2. CINÉTICA DE AGLOMERACIÓN.....	59
V. CONCLUSIONES.....	71
VI. RECOMENDACIONES.....	72
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	73
ANEXOS.....	79

## ÍNDICE DE TABLAS

		<b>Pág.</b>
Tabla 1	Información nutricional del producto Nesquik cereales andinos.....	7
Tabla 2	Información nutricional del producto Ecco con cereales andinos.....	8
Tabla 3	Perfil nutricional de la harina extruida de quinua.....	9
Tabla 4	Características físico-químicas de la harina extruida de quinua.....	9
Tabla 5	Especificaciones de la umbralización de las imágenes.....	36
Tabla 6	Esquema de recolección de datos.....	39
Tabla 7	Precisión de la temperatura programada en el sistema.....	43
Tabla 8	Variación del índice de aglomeración en las partículas de los alimentos instantáneos, en condiciones críticas de 65 % HR y 30 °C.....	59
Tabla 9	Variación del índice de aglomeración en las partículas de los alimentos instantáneos, en condiciones críticas de 85 % HR y 25 °C.....	61
Tabla 10	Variación del índice de aglomeración en las partículas de los alimentos instantáneos, en condiciones críticas de 95 % HR y 20 °C.....	64
Tabla 11	Análisis de Varianza para el índice de aglomeración.....	68
Tabla 12	Prueba de comparación múltiple Duncan para el índice de aglomeración por condiciones críticas.....	69
Tabla 13	Prueba de comparación múltiple Duncan para el índice de aglomeración por alimentos instantáneos.....	69
Tabla 14	Prueba de comparación múltiple Duncan para el índice de aglomeración por tiempo.....	70

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1 Demostración esquemática de los mecanismos más comunes de "aglomeración por humedad" en alimentos en polvo.....	13
Figura 2 Etapas durante un proceso típico de aglomeración, indicando los cambios en el sistema de porosidad [ $p(t)/p_0$ ] y la relación del diámetro de puente interpartícula y diámetro de partícula [ $D_{puente}/D_{particula}$ ] en cada etapa.....	17
Figura 3 Montaje experimental utilizado para determinar el área proyectada de las partículas con el sistema de adquisición de imágenes, en condiciones controladas de temperatura, humedad relativa y tiempo.....	32
Figura 4 Diagrama de Flujo para la evaluación del fenómeno de aglomeración mediante el análisis de imágenes.....	33
Figura 5 Ajuste en el software Camera Control Pro 2. Para la toma de imágenes de las partículas de alimentos a base de cereales instantáneos.....	35
Figura 6 Circuito utilizado para el diseño del sistema de control de la temperatura.....	41
Figura 7 Diseño del sistema para el control de la temperatura.....	42
Figura 8 Nivel de precisión del sistema diseñado.....	44
Figura 9 Imágenes obtenidas con la cámara digital D7000 reflex con objetivo micro, de partículas amorfas en muestras de Ecco con cereales andinos.....	46

Figura 10	Imágenes obtenidas con la cámara digital D7000 reflex con objetivo micro, de partículas amorfas en muestras de Nesquik cereales andinos.....	48
Figura 11	Etapas típicas de la aglomeración en dos partículas de Nesquik cereales andinos en condiciones críticas de 85 % HR y 25 °C.....	50
Figura 12	Imágenes obtenidas con la cámara digital D7000 reflex con objetivo micro, de partículas amorfas en muestras de Harina extruida de quinua.....	52
Figura 13	Variación de las áreas proyectadas de las partículas en función del tiempo.....	55
Figura 14	Imágenes binarias de partículas de alimentos instantáneos (E=Ecco con cereales andinos, N = Nesquik cereales andinos, H = Harina extruida de quinua), que muestran el cambio de áreas proyectadas.....	56
Figura 15	Índice de aglomeración en función del tiempo, de los alimentos instantáneos en condiciones críticas de 65 % HR y 30 °C.....	60
Figura 16	Índice de aglomeración en función del tiempo, de los alimentos instantáneos en condiciones críticas de 85 % HR y 25 °C.....	62
Figura 17	Índice de aglomeración en función del tiempo de los alimentos instantáneos en condiciones críticas de 95 % HR y 20 °C.....	65

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
ANEXO I	Resultados del análisis de humedad en las muestras..... 80
ANEXO II	Detalles tomados en cuenta para llevar el control de la temperatura y la humedad relativa en la cámara de acrílico..... 81
ANEXO III	Resultados de las lecturas realizadas en el termohigrómetro con sensor externo de temperatura y humedad relativa, con sus respectivos niveles de precisión..... 82
ANEXO IV	Resultados de la variación de las áreas proyectadas de las partículas en cm <sup>2</sup> de los alimentos instantáneos a base de cereales andinos..... 84
ANEXO V	Resultados de la variación del índice de aglomeración por repetición determinada en los alimentos a base a cereales instantáneos..... 87
ANEXO VI	Especificaciones técnicas de la harina extruida de quinua..... 89
ANEXO VII	Sistema armado para la adquisición de las imágenes..... 90



## RESUMEN

La conservación de los alimentos instantáneos es un problema en la agroindustria, ya que estos se aglomeran por su gran higroscopicidad si no se manipulan en condiciones adecuadas. El objetivo principal del presente trabajo de investigación fue evaluar el comportamiento del fenómeno de aglomeración en alimentos instantáneos a base de cereales andinos sometidos a condiciones críticas de temperatura y humedad relativa mediante análisis de imágenes. Para tal fin se utilizó el método de las áreas proyectadas de las partículas. Las muestras se colocaron en una cámara acrílica en el que los parámetros: 65 % HR y 30 °C, 85 % HR y 25 °C, 95 % HR y 20 °C fueron controlados con un sistema diseñado que resultó tener una precisión de  $\pm 2.00$  °C. Los resultados indican que las partículas de Ecco con cereales andinos presentó una aglomeración mecánica por su estructura fibrosa y extremadamente irregular y a una posible presencia de almidón dextrinizado que conllevó a la contracción (0.030 a 0.026 cm<sup>2</sup>) e incremento del tamaño de las partículas (hasta 0,040 cm<sup>2</sup>). Las partículas de Nesquik cereales andinos presentó una aglomeración de flujo plástico por las partículas cristalinas y a una posible mayor presencia de almidón gelatinizado los cuales generaron la adhesión, coalescencia y la desintegración de las partículas originando un mayor incremento en el área proyectada de las mismas (0.043 a 0.102 cm<sup>2</sup>). Las partículas de Harina extruida de quinua presentó una aglomeración química porque no se observó la desintegración ni la variación de su forma, debido a la mayor presencia de polímeros insolubles en la matriz de las partículas (estables durante la extrusión) que originó un mínimo incremento en el área proyectada de las mismas (0.048 a 0.055 cm<sup>2</sup>). Por lo tanto los índices de aglomeración obtenidos se encuentran entre: 0.048 ~ 0.236 para el Ecco con cereales andinos, 0.051 ~ 0.123 para la Harina extruida de quinua y 0.021 ~ 1.074 para el Nesquik cereales andinos (más higroscópico).

## I. INTRODUCCIÓN

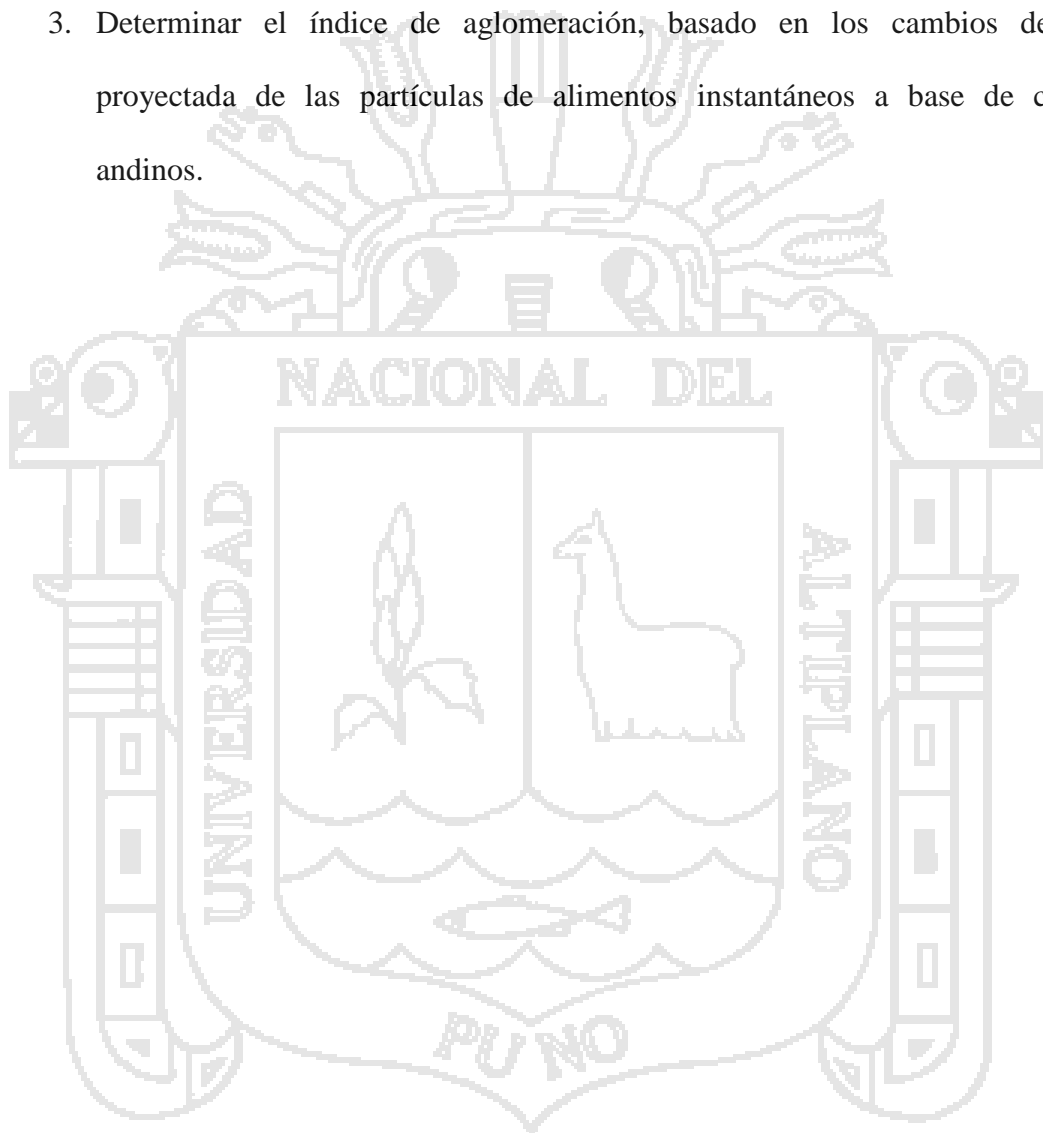
En la actualidad la tendencia de las empresas agroindustriales, es la fabricación de productos instantáneos, debido a que los alimentos procesados más consumidos por la población en general son estos productos, ya que por su fácil preparación pueden ser consumidos en cualquier momento del día (Comasa, 2012).

En el mercado existe una gran cantidad de productos instantáneos como el Ecco y el Nesquik elaborados con cereales andinos, que vienen en distintas presentaciones, sabores, aromas y colores, que para ser consumidos deben rehidratarse con leche, con agua hervida o fría, porque son de naturaleza polvorienta.

Sin embargo, Mosquera (2010) afirma que uno de los grandes problemas de estos productos es su conservación durante su comercialización, almacenamiento o procesamiento, si no se tiene las precauciones necesarias estos se aglomeran por su gran higroscopicidad, es decir se vuelven pegajosas y forman grumos, generando así la pérdida de la calidad del producto por la mala apariencia que generan. Aguilera y Fillford (1996) indican que la realización de experimentos en tiempo real bajo una cámara digital, en condiciones ambientales controladas, se justifica como una forma de “miniaturización” de condiciones de procesamiento, almacenamiento o comercialización. Por lo tanto en dicho sistema se podrá realizar estudios de cualquier tipo de producto higroscópico para mejorar su estabilidad frente a variables como la temperatura y la humedad relativa en un proceso agroindustrial.

Por ello el presente estudio se llevó a cabo con la finalidad de evaluar el comportamiento del fenómeno de aglomeración en alimentos instantáneos a base de cereales andinos, sometidos a condiciones críticas de temperatura y humedad relativa. Para tal propósito se plantearon los siguientes objetivos:

1. Diseñar un sistema con condiciones controladas de temperatura y humedad relativa, para evaluar el comportamiento del fenómeno de la aglomeración.
2. Comparar el comportamiento del fenómeno de aglomeración entre los productos instantáneos Ecco con cereales andinos, Nesquik cereales andinos y Harina extruida de quinua.
3. Determinar el índice de aglomeración, basado en los cambios del área proyectada de las partículas de alimentos instantáneos a base de cereales andinos.



## II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. ALIMENTOS INSTANTÁNEOS

El proceso de dispersión o disolución de un polvo se divide en cuatro fases, y el comportamiento de sus propiedades físicas asociadas con estas etapas, conforma el concepto de propiedades instantáneas. En la primera etapa conocida como humedecimiento, el líquido penetra dentro de los poros de las partículas de polvo; en la segunda, las partículas se sumergen debajo de la superficie del líquido; en la tercera se dispersan con una pequeña energía de agitación y en la etapa final las partículas forman la solución si son solubles en el líquido o permanecen suspendidas. La secuencia durante la reconstitución de un alimento en polvo y la facilidad para que ocurra el proceso, depende en gran parte de la naturaleza del producto (Ceballos, 2008). Mientras que Ortega, (2006) afirma que un producto instantáneo es aquel que requiere muy poco esfuerzo para reconstituirse.

### 2.2. EXTRUSIÓN DE ALIMENTOS

La palabra extrusión proviene del latín “extrudere” que significa forzar un material a través de un orificio. El sistema utiliza un extrusor caracterizado por un tornillo sinfín, encerrado en un túnel en donde el material alimenticio se desplaza con un movimiento rotatorio a temperaturas y presiones elevadas. Durante el trayecto se va hidratando el material con agua o vapor de agua, con el fin de obtener una masa de un grado determinado de hidratación. A la salida del extrusor y como consecuencia de la caída de presión, se produce una expansión del producto (Zea, 2011).

Las condiciones de HTST (High Temperature Short Time) de la extrusión es un tratamiento térmico a elevada temperatura durante corto tiempo que se emplean típicamente para ingredientes de alimentos con bajo contenido de humedad (Torres & Pérez, 2006).

Guy (2001) señala que los materiales fibrosos encontrados en una formulación de cocción por extrusión deberían incluir materiales comprendidos por hemicelulosa, celulosa y derivados de lignina provenientes de cascarilla y salvado de granos y semillas. Estos materiales tienden a permanecer firmes y estables durante el procesado y no son reducidos en su tamaño durante la extrusión.

### **2.2.1. EFECTO DE LA EXTRUSIÓN SOBRE LOS ALIMENTOS**

La combinación de calor y esfuerzo mecánico propician la desnaturalización de las proteínas, inactivación de enzimas que afectan negativamente la vida anaquel, destrucción de compuestos antinutricionales, drástica o total eliminación de microbios a la salida del extrusor, pequeñas pérdidas de vitaminas, desarrollo de pardeamiento enzimático e incluso aparición de ciertos aromas y sabores (Fellows, 2001). Mientras que Cartagena (2011) señala que el efecto sobre los carbohidratos, básicamente se da en la gelatinización del almidón y esto se incrementa con la temperatura, asimismo el aumento de la humedad de alimentación tiene efecto positivo a altas temperaturas, mientras que el aumento de la velocidad del tornillo y el diámetro de la boquilla reduce la gelatinización.

Dávila et al. (1992) señala que en el laminado se presenta un menor contenido de grasa (1.78 %) con respecto al extruido, quizás debido a los cambios que produce el proceso en la matriz del almidón, lo que contribuye a una mayor retención de grasa. Los procesos térmicos promueven la modificación de los almidones y los vuelve más resistentes a la acción enzimática, lo que incide en una disminución de la fibra dietética soluble en los productos extruidos. La vida útil del producto extruido empacado en funda de polipropileno metalizado y almacenado a 17 °C y 60 % de humedad relativa, es de 159 días y 189 días para el laminado.

### **2.2.1.1. Componentes del almidón que intervienen en la expansión**

Torres y Pérez (2006) indican que el almidón se presenta como amilosa (un polímero lineal más soluble) y amilopectina (ramificada). La amilopectina promueve el inflado y la amilosa ofrece una textura quebradiza. El almidón es insoluble en agua fría. Cuando se calienta con agua, la absorbe, se hincha y revienta; este fenómeno se llama gelatinización. Para tener un producto inflado y quebradizo, es conveniente tener de 5 a 20 % de amilosa. El nivel óptimo de humedad para la cocción (gelatinización) del almidón es aproximadamente 27 % y lleva a la obtención de un producto seco con máxima absorción de agua. Aunque algunos cereales pueden extraer a niveles de humedad de tan solo 8 a 10 %, el almidón resultante se dextriniza (se reduce a longitudes más cortas de polímeros de glucosa) mediante la fricción mecánica, en vez de la gelatinización. La dextrinización se caracteriza por un aumento en la solubilidad al agua fría y por obtención de un producto pegajoso cuando se humidifica. La dextrinización es recomendable cuando se elaboran productos alimenticios de consistencia rígida y quebradiza; sin embargo la gelatinización es preferible cuando se desea la absorción y retención de humedad, con un mínimo de pegajosidad.

### **2.2.2. ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA EN LOS EXTRUIDOS**

Esta característica, constituye el peso del gel obtenido por gramo de muestra seca, es una medida de la energía de esponjamiento o hinchamiento del almidón, alcanzando un máximo con el grado de daño de los gránulos del almidón, disminuyendo con la dextrinización. La capacidad de absorción de agua de estos productos esta relacionada a su textura después de su rehidratación, los contenidos de humedad y temperatura de cocción son factores significantes para el índice de absorción de agua (Lin & Hshieh, 2002). Por su parte, Cartagena (2005) señalan que el índice de absorción de agua es un método para medir el grado de conversión del almidón y que una

verdadera conversión se logra cuando se tiene un hinchamiento irreversible, lo que es cuantificado por el índice de absorción de agua. Y reporta en su investigación, que el índice de absorción es favorecida hasta  $5.4 \text{ g}_{\text{gel}}/\text{g}_{\text{muestra}}$  con el aumento de humedad hasta 13% luego este disminuye gradualmente, esto podría ser explicado por que a niveles de humedad mayores a este, el almidón de la cañihua no es transformado adecuadamente.

### 2.2.3. GRADO DE GELATINIZACIÓN

La gelatinización es un proceso de incremento y amorfo rompimiento de los cristales de almidón en presencia de agua caliente. El curso de la gelatinización depende del origen botánico del almidón, de la temperatura empleada y el contenido acuoso; así el almidón desecado con 1 ~ 3 % de agua, sufre hasta una temperatura de  $180 \text{ }^{\circ}\text{C}$  solo una modificación ligera, en tanto que el almidón con 60 % de agua se gelatiniza totalmente ya a  $70 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (Tacora, 2010).

Salas (2010) indica que el índice de gelatinización o grado de cocción del almidón es un indicativo del grado de digestión que tendrá el alimento una vez consumido.

Según la Resolución ministerial Nro. 451-2006/MINSA; para que un producto sea considerado apto para el consumo humano en el marco de los Programas Sociales de Alimentación deben cumplir con un índice de gelatinización mayor a 94 %.



## 2.2.4. PRODUCTOS CON CEREALES ANDINOS EN EL MERCADO

### 2.2.4.1. Nesquik cereales andinos

**Presentación:** Doy Pack x 200 g.

**Descripción:** Nesquik Cereales Andinos es un alimento instantáneo en polvo para la leche con harina de cereales y maca extruidos.

**Ingredientes:** Alimento instantáneo en polvo [azúcar, cacao en polvo, sales minerales (calcio, zinc), emulsionante (lecitina de soya), sal, vitaminas (C, Niacina, E, B2,B6, B1, A, ácido Fólico, D, B12), saborizante idéntico al natural vainilla y saborizante artificial (vainilla)] harina de cereales y maca extruidos [maíz, quinua, kiwicha, cañihua, maca y emulsionante (Mono y diglicéridos de ácidos grasos)], Vitamina C y Hierro (fumarato ferroso) (Nestlé Perú S.A., 2012).

**Información Nutricional:** A continuación se muestra la información nutricional del producto Nesquik cereales andinos por cada 100g de porción.

**Tabla 1.** Información nutricional del producto Nesquik cereales andinos.

Contiene:	Por 100 gramos (porción)
Energía (kcal)	377.8
Proteína (g)	5.6
Carbohidratos (g)	81.1
Grasa (g)	3.3
Hierro (mg)	9.4

Fuente: Nestlé Perú S.A., 2012.

#### 2.2.4.2. Ecco con cereales andinos

**Presentación:** Doy Pack x 125 g.

**Descripción:** Cebada Tostada Instantánea con harina de cereales extruidos.

**Ingredientes:** Cebada tostada (cebada\* y caramelo), Harina de cereales extruidos (maíz\*, quinua\*, kiwicha\*, cañihua\*), Vitamina C y Hierro (Nestlé Perú S.A., 2012).

**Información Nutricional:** A continuación se muestra la información nutricional del producto Ecco con cereales andinos, por cada 100g de porción.

**Tabla 2.** Información nutricional del producto Ecco con cereales andinos.

Contiene:	Por 100 gramos (porción)
Energía (kcal)	400
Calorías de la grasa (kcal)	0
Proteína (g)	6
Grasa (g)	1.5
Carbohidratos (g)	84.5

Fuente: Nestlé Perú S.A., 2012.

#### 2.2.4.3. Productos extruidos a base de quinua

Mediante este proceso, la quinua laminada se acondiciona en un rango de porcentaje de humedad entre 14 a 16 %. El proceso se lleva a cabo a temperaturas de 150~160 °C y la presión se incrementa hasta 2.5 Mpa debido a la energía mecánica (fricción) que ejerce el tornillo sin fin, el cual gira a alta velocidad (350 rpm) presionando el alimento contra las paredes del cilindro extrusor. El agua que se encuentra mezclada con el alimento sufre un cambio brusco de presión, evaporándose instantáneamente y provocando la expansión. (Zea, 2011).

### 2.2.4.3.1. Harina instantánea de quinua

Es la base extruida (quinua extruida “gelatinizada”), reducida a polvo y que se dispersan rápidamente en líquidos, esta cualidad y la de poder ser consumido sin previa cocción la ponen en ventaja sobre la harina cruda para ciertos usos como en la preparación de bebidas instantáneas y como suplemento nutritivo. (Repo-Carrasco & Hoyos, 1993).

**Información Nutricional:** A continuación se muestra el perfil nutricional de la harina extruida de quinua.

**Tabla 3.** Perfil nutricional de la harina extruida de quinua.

Análisis:	Por 100 gramos (porción)
Proteína (g)	12.51
Grasa (g)	2.53
Fibra dietética soluble (g)	1.09
Almidón (g)	74.12

Fuente: Repo-Carrasco & Hoyos, 1993.

**Tabla 4.** Características físico-químicas de la harina extruida de quinua.

Componente	Valores
Humedad	Menor o igual a 5 %
Acidez (exp. Ac. Sulfúrico)	Menor o igual a 0.4 %
Índice de gelatinización	Mayor a 94 %
Índice de peróxido	Menor a 10 mEq / Kg de grasa
Saponina	Ausente

Fuente: Laboratorio Biolatina S.A.C., 2014.

### 2.3. EL MECANISMO DE LA AGLOMERACIÓN

La aglomeración es causada por las diversas fuerzas entre las partículas (interpartículas) desarrolladas bajo la absorción de la humedad, temperatura elevada, o la presión estática durante el procesamiento, el transporte y el almacenamiento (Peleg, 2005).

Chen y Chou (1993) indican que el desarrollo de la aglomeración entre los polvos puede variar según la composición del material, tamaño de partícula, forma, contenido de humedad, la presión, las variaciones en la temperatura y la humedad. Estos factores pueden estar combinados para formar polvos adheridos a través de más de un mecanismo, dependiendo de las condiciones ambientales involucrado en un sistema dado de polvo. Por lo tanto, una definición estricta de aglomeración, es difícil de formular debido a todos los cambios que se producen en un sistema, que pueden implicar muchas etapas superpuestas.

Fitzpatrick et al. (2010) corrobora indicando que la aglomeración de las partículas de polvo compuestas principalmente de sustancias amorfas depende mucho de la humedad relativa del aire circundante y la temperatura.

Según Barbosa et al. (2005) el fenómeno de la aglomeración se puede clasificar en los siguientes mecanismos:

- **La aglomeración química:** Este es el tipo de mecanismo de aglomeración más común. Puede ser causada por reacciones químicas en las que un compuesto ha sido generado o modificado, tales como la descomposición, hidratación, deshidratación, recristalización, o sublimación. Durante la recristalización, por ejemplo, cualquier rastro de agua en la solución saturada en superficies intercrystalinas se pueden evaporar por una temperatura pequeña y / o la variación de humedad en el medio ambiente, lo que lleva a la formación de puentes sólidos recristalizados entre las partículas.

- **Aglomeración de flujo plástico:** Se produce cuando se excede el valor de rendimiento de las partículas y se adhieren juntándose en una sola forma de partícula. Esto usualmente ocurre con los materiales amorfos como los alquitranes (brea líquida), geles lípidos o ceras. Por otra parte, algunas sustancias cristalinas suaves también se pueden adherirse conjuntamente cuando son sometidas a cualquier presión o temperatura superior.

- **Aglomeración mecánica:** Se trata de la relación partículas - forma y es causada por partículas entrelazadas o "nidos de pájaro". Usualmente ocurre con partículas fibrosas o en forma de placa pero no con esferas. La producción del atado de algodón es un buen ejemplo de una práctica deseable de aglomeración de este tipo.

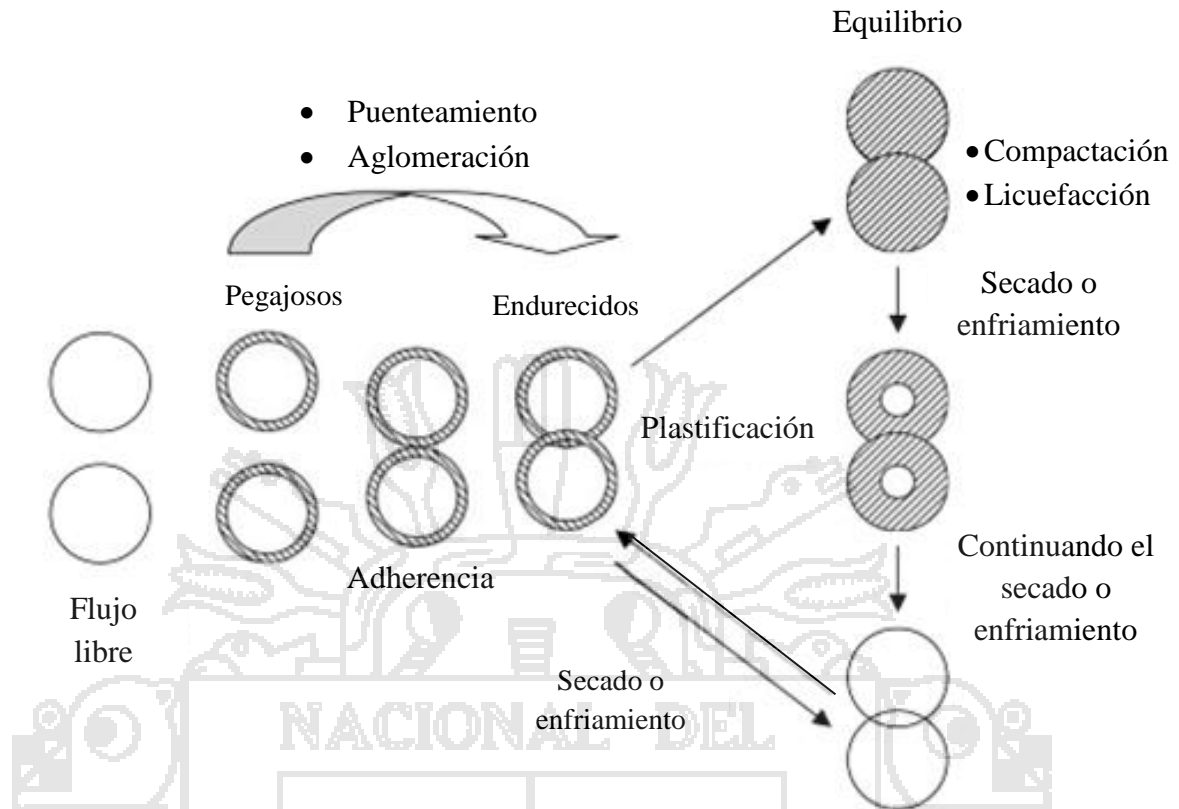
Mosquera (2010) indica que en el caso de productos en polvo, el término más comúnmente utilizado para explicar el mecanismo de colapso o aglomeración es "*humidity caking*" (aglomeración por humedad), el cual puede ser clasificado como de tipo químico "*chemical caking*" o de tipo flujo plástico "*plastic-flow caking*" de acuerdo a sus características particulares. El primero está causado por reacciones químicas en las que un componente se modifica o se genera y el segundo cuando las partículas exceden un valor umbral y se pegan unas a otras.

### 2.3.1. ETAPAS DE LA AGLOMERACIÓN

Aguilera et al. (1995) establecen para el mecanismo de aglomeración por humedad en alimentos en polvo cuatro estados diferentes: Puenteamiento (formación de puentes), la aglomeración, compactación y la licuefacción (Figura 1). *El puenteamiento* es la etapa inicial que se produce como resultado de la deformación de la superficie y la aparición de puntos de contacto pegajosos entre las partículas "*sticky*", sin una disminución cuantificable en la porosidad del sistema. La Adherencia sin puentes

materiales se debe principalmente a las fuerzas de Van der Waals y electrostáticas, especialmente en partículas muy finas de 10  $\mu\text{m}$  o menores. *La aglomeración* es una etapa posterior que implica una consolidación irreversible de los puentes mientras que se mantiene la alta porosidad del sistema particulado, resultando en grupos de partículas con integridad estructural y mayor tamaño “*caked*”. Durante *la compactación* ocurre una reducción de los espacios entre partículas y la deformación de los agregados formados bajo presión lleva a una pérdida en la integridad del sistema como resultado del engrosamiento de los puentes interpartícula ya formados. *La licuefacción* es la etapa final del *humidity caking*, en donde los puentes interpartícula desaparecen debido al alto contenido en agua. Este estado usualmente involucra la solubilización de las fracciones de bajo peso molecular que provocan el comportamiento higroscópico. En cualquier etapa dado, los aglomerados pueden ser pocos o numerosos, de diferentes tamaños o de diferentes grados de dureza.

La presentación esquemática de este mecanismo de aglomeración se demuestra en la Figura 1.



**Fig. 1.** Demostración esquemática de los mecanismos más comunes de "aglomeración por humedad" en alimentos en polvo (Barbosa et al., 2005).

Al respecto Downton et al. (1982) afirman que la etapa inicial de la aglomeración parece ser el mecanismo preponderante para la formación de puentes. Lo cual puede ocurrir debido al flujo del material exterior en las partículas, inducido por la adsorción de la humedad o condensación. Así define a la aglomeración como un fenómeno perjudicial en la que las partículas de un polvo amorfo son deformadas progresivamente hasta que se pegan unas a otras formando eventualmente grandes aglomerados.

Rios (2004) afirma que en general, la adhesión de partículas sin formación de puentes (fuerzas de Van der Waals o electrostáticas) forman aglomerados relativamente débiles. En cambio los que forman puentes son más fuertes.



### 2.3.1.1. Puentes de sinterización entre las partículas amorfas

Los fuentes más comunes que causan las formaciones de puentes líquidos en alimentos en polvo son: (a) adición de agua debido a la adsorción de humedad, la condensación de la humedad, la mojadura accidental del polvo o el equipo; (b) fusión de los lípidos o azúcares amorfos en la superficie de la partícula debido a la temperatura elevada; (c) la liberación de agua absorbida de la cristalización de azúcares amorfos; (d) reacciones químicas que producen líquidos, y (e) la inmigración de agua de los ingredientes líquidos excesivos en el polvo (Christakis et al., 2006).

Todos los materiales tienen la tendencia a reducir su área de superficie libre que está asociado con la energía específica del sistema. Al igual que las gotas de líquido de baja viscosidad, las partículas amorfas tienden a adoptar una forma esférica. La unión de dos partículas amorfas puede ser considerada como una nueva partícula sola. Para reducir al mínimo el área de la superficie libre de esta partícula recién creada, las moléculas son transportadas al punto de contacto entre las dos partículas primarias; tal proceso se denomina sinterización. La fuerza motriz para el proceso de sinterización es la diferencia entre la presión capilar en el punto de contacto entre las partículas y la presión de Laplace en el volumen de las dos partículas iniciales. La difusión de moléculas dentro de las partículas, algunas veces también se conoce como flujo viscoso, parece ser el mecanismo relevante para la aglomeración de la mayoría de las sustancias amorfas solubles en agua causadas por la sinterización. La cinética de tales procesos de transporte depende en gran medida del coeficiente de difusión, que está en función de la viscosidad. La viscosidad de los sólidos amorfos depende de la temperatura así como también del contenido de plastificante del material. Por lo tanto, la sinterización se puede controlar mediante el ajuste de la temperatura y/o el contenido de agua del sistema (Hartmann & Palzer, 2010). Por su parte, Fitzpatrick et al. (2010) afirma que la

sinterización es un proceso en el que las moléculas se mueven en el espacio existente entre dos partículas vecinas y esta se habilita por encima de la transición vítrea porque las moléculas son capaces de fluir. El proceso es impulsado por la tensión superficial y/o una fuerza externa. Mientras se cierra la distancia entre las partículas, se reduce la energía superficial específica libre del sistema. La velocidad de desarrollo del puente de sinterización dependerá de la movilidad molecular, que está vinculada a la viscosidad del material.

Por otra parte, Mosquera (2010) afirma que el paso de vítreo a gomoso implica la pérdida del carácter crujiente de muchos alimentos o la aglomeración de productos pulverulentos.

### 2.3.2. ÍNDICE DE AGLOMERACIÓN

En la práctica una medida cuantitativa de la aglomeración es útil para el seguimiento de los cambios en la condición de un polvo con el paso del tiempo. Un índice de aglomeración se puede definir como el estado del sistema en cualquier momento en relación a un estado inicial (Barbosa et al., 1995).

Al respecto Saragoni et al. (2007) define el índice de aglomeración como (Ec. (1)).

$$\varnothing(t) = \frac{PA(t) - PA(0)}{PA(0)} \quad \text{Ec. (1)}$$



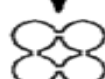


Donde: PA(0) y PA(t) son los valores (mm<sup>2</sup>) de la media del área proyectada de las partículas en el inicio del experimento y en cualquier tiempo t.

Barbosa et al. (2005) indican que existe dos indicadores morfológicos que definen las condiciones del sistema: la relación de porosidad instantánea del sistema con la porosidad inicial ( $p(t)/p_0$ ), y la relación del diámetro del puente inter-partícula con el

diámetro de partícula ( $D_{\text{puente}} / D_{\text{partícula}}$ ). Una disminución de la porosidad se observa tan pronto como ocurre el puenteamiento, porque los espacios vacíos entre las partículas se hacen más pequeños. Los puentes de la partícula comienzan a aumentar de diámetro tan pronto como la aglomeración avanza del puenteamiento a la etapa de compactación.

Mathlouthi y Roge (2003) afirma que el tamaño simple de una partícula, en un sistema con propiedades constantes también influye en la aglomeración en el que las partículas más pequeñas tienen más probabilidad de aglomerarse. Por lo tanto, la relación de superficie-a-superficie se hace mayor a medida que las partículas se hacen más pequeñas. Una vez que las partículas interactúan físicamente, el puenteamiento se produce como resultado de la deformación de la superficie.

Aguilera et al. (1995) indica que la aglomeración es un fenómeno perjudicial por el cual un polvo de humedad baja y de flujo libre se transforma primero en grumos, luego en un sólido aglomerado y finalmente en un material pegajoso dando como resultado la pérdida de la funcionalidad y disminuyendo la calidad. Es difícil de formular una definición estricta de aglomeración ya que los cambios en un sistema de partículas dependen de la temperatura, la humedad y la situación del polvo, e implican muchas etapas diferentes, incluyendo el puenteamiento, la aglomeración, compactación y licuefacción (Figura 2).

ETAPAS	$p(t)/p_0$	$D_{puente}/D_{partícula}$	MORFOLOGÍA
Flujo libre	1	0	
Puenteamiento	→ 1	→ 0	
Aglomeración	< 1	> 0	
Compactación	→ 0	→ 1	
Licuefacción	0	1	

**Fig. 2.** Etapas durante un proceso típico de aglomeración, indicando los cambios en el sistema de porosidad  $[p(t)/p_0]$  y la relación del diámetro de puente interpartícula y diámetro de partícula  $[D_{puente}/D_{partícula}]$  en cada etapa.

Barbosa et al. (2005) señala que la aglomeración de un polvo amorfo es un fenómeno dependiente del tiempo. Modelar la cinética de aglomeración es una tarea difícil, porque se conocen muchos factores que afectan, tanto internos (tales como tamaño de partícula, carga, comportamiento higroscópico y el estado físico de las partículas) y externos (temperatura y humedad relativa del medio ambiente, tensión mecánica aplicada y la presencia de barreras contra la humedad, entre otros). En el momento de establecer la cinética real de la aglomeración, debe ser controlado la tasa de difusión de vapor de agua y las partículas deberían tener una exposición uniforme a la fase de vapor.

### 2.3.3. LA AGLOMERACIÓN EN ALIMENTOS EN POLVO

En la fase inicial del proceso el polvo comienza a volverse pegajosas y las partículas se adhieren entre sí lo que conduce a una reducida capacidad de flujo del polvo a granel (que se describe a menudo como "pegajosidad"). Ellos forman conglomerados frágiles y con el progresamiento de la sinterización se obtiene una torta de polvo mecánicamente estable. En una fase posterior de la sinterización, las partículas que faltan de una estabilización de su estructura interna, que se construyen de sustancias poco disolventes pierden su estructura y forma. La estructura del polvo colapsa, obteniéndose una masa fundida amorfa altamente viscosa. La forma de algunas partículas (por ejemplo, trozos de verduras deshidratadas) se conserva debido a una matriz insoluble (por ejemplo, compuesto de celulosa, silicato, grasa o proteínas) y por lo tanto no se observa un colapso de la estructura del polvo.

Cuando las sustancias amorfas solubles en agua se almacenan en un ambiente con una alta humedad, ellos absorben el agua y por lo tanto su viscosidad disminuye. Aunque la sinterización se acelera debido a la disminución de la viscosidad, la fuerza de tensión del material sinterizado/puente disminuye con el aumento del contenido de agua. Debido a la absorción progresiva del agua primero la fuerza de la torta de polvo aumenta y en una fase posterior del progreso disminuye de nuevo. La explicación: Al bajo contenido de humedad o en la fase temprana (inicio) del proceso de la sinterización el diámetro del puente sinterizado limita la estabilidad de la torta de partículas. El diámetro cada vez mayor de los puentes sinterizados conduce a una fuerza cada vez mayor de la torta. Con el progreso de la absorción de la humedad la viscosidad del puente disminuye y por lo tanto, la fuerza de la torta de polvo disminuye de nuevo. Finalmente, la estructura del polvo colapsa y se obtiene una masa pastosa (desmejorada). La viscosidad de las sustancias amorfas es también reducida a

temperaturas altas que conducen a una acelerada sinterización de las partículas y una resistencia cada vez mayor de la torta de polvo.

Los polvos cristalinos solubles en agua se comportan de manera diferente cuando están expuestos a una elevada temperatura o humedad. Si su humedad crítica se supera temporalmente, ellos se disuelven parcialmente. Los puentes líquidos de baja viscosidad que se forman son bastante frágiles. Sin embargo, puede formarse una torta de polvo estable si el agua absorbida se evapora de nuevo permitiendo una re-cristalización de la sustancia disuelta. En consecuencia, la aglomeración de polvos cristalinos almacenados en contenedores cerrados puede ser inducida por la condensación y la evaporación de la humedad debido a las variaciones de temperatura. El condensado construye puentes líquidos entre las partículas. Después de un intervalo de tiempo corto el líquido de la formación de estos puentes es saturado con la sustancia disolventes. Si más tarde el agua se evapora de este líquido, se forman puentes estables entre las partículas. Finalmente, también la fusión (derretimiento) y la subsiguiente re-cristalización de la grasa (por ejemplo, cacao, grasa de palma, etc) debido a las variaciones de temperatura puede causar aglomeración de las masas de polvo que contienen grasa (Hartmann & Palzer, 2010).

Barbosa et al. (2005) coincide al afirmar que muchos productos alimenticios tienen problemas de aglomeración. Los polvos como café instantáneo, té en polvo, crema en polvo e incluso sopa en polvo deben ser de flujo libre, especialmente cuando se utilizan las máquinas expendedoras (automáticas). Los alimentos en polvo producidos mediante secado por atomización es probable que incluyan componentes de un estado gomoso. Almidón, amilosa, amilopectina, almidón hidrolizado y algunos polisacáridos no almidón, azúcares de bajo peso molecular, proteínas de los alimentos y

sus hidrolizados son propensos a formar cristales (vítreos). Dado que la composición de polvo juega un papel importante en el comportamiento de la aglomeración.

### **2.3.3.1. Los carbohidratos**

Los constituyentes de los carbohidratos tienen el mayor efecto sobre ejercer influencia en la temperatura de transición vítrea de un material alimenticio seco amorfo. Los azúcares de bajo peso molecular tales como fructosa, glucosa y sacarosa tienen una temperatura de transición vítrea relativamente baja, por lo que su influencia en la depresión (decaimiento) de la Tg es muy notable en alimentos ricos en azúcar. Durante el secado de los productos ricos en azúcar, ellos pueden o bien permanecer como jarabe o pegarse (adherirse) en la pared de la cámara secadora. Hay también el problema de la aglomeración no deseada en la cámara de secado y en el sistema de transporte. El método o la estrategia más común para el secado de tales productos ha sido añadir aditivos de alto peso molecular (por ejemplo, maltodextrina), que tiene el efecto de elevar la Tg (Barbosa et al., 2005).

Los sólidos en los jugos de frutas deshidratados comprenden principalmente de fructosa (Tg = 5 °C), glucosa (Tg = 31 °C) y sacarosa (Tg = 62 °C), y la Tg de mezclas de fructosa/glucosa/sacarosa (composición similar al jugo de frutas deshidratado) se pueden estimar que está por debajo de los valores típicos de la temperatura ambiente. Esto también explica por qué se recomienda que las paredes de los secadores de un atomizador utilizados para hidratar este tipo de productos se enfríen para reducir los problemas de pegajosidad. (Roos & Karel, 2005).

Barbosa et al. (2005) indican que la estabilidad contra la aglomeración de varios polvos preparados para lactantes a base de leche es aumentado con el incremento de cantidades crecientes de los carbohidratos de alto peso molecular (malto dextrinas), lo cual eleva la Tg de la muestra. Al respecto, Chuy y Labuza (2006) llegan a la conclusión



de que la  $T_g$  es un índice útil para evaluar la estabilidad física de alimentos en polvo durante el procesamiento y almacenamiento.

### **2.3.3.2. Alimentos en polvo basado en proteínas**

Las Proteínas de pescado hidrolizadas (HFP) son polvos amorfos y se aglomeran rápidamente a altas temperaturas y humedad relativa. Un incremento en la humedad relativa de 0 a 64 % reduce la  $T_g$  del material de 79,1 a - 42,8 °C. Para otros polvos proteinizados como la salsa de soja seca, determinaron la aparición de la aglomeración entre 20 y 33 % de humedad relativa (Barbosa et al., 2005).

### **2.3.4. LOS PRINCIPIOS DE ADHESIÓN RELEVANTES DURANTE LA AGLOMERACIÓN**

El aumento de las fuerzas de adhesión entre las partículas son prerequisite para la aglomeración y el apelmazamiento (endurecimiento). La adhesión puede estar relacionada con el desarrollo de puentes de material (físico) o el aumento de las fuerzas de Van der Waals entre las partículas vecinas (Sierra, 2003).

Para la aglomeración de las partículas amorfas solubles en agua son relevantes los siguientes mecanismos de adhesión (Hartmann & Palzer, 2010):

- El aumento de las fuerzas de Van der Waals, debido a la deformación plástica.
- El aumento de las fuerzas de Van der Waals, debido a la deformación viscoelástica
- Los puentes líquidos con baja viscosidad y los puentes sólidos cristalinos.

Las fuerzas electrostáticas no son relevantes para la aglomeración ya que las partículas están en contacto continuo.

#### **2.4. HIGROSCOPICIDAD DE LAS SUSTANCIAS SOLUBLES EN AGUA**

La capacidad de agua de los materiales cristalinos es bastante baja. Debajo de una humedad relativa crítica que conduce a la disolución de la sustancia cristalina, una cantidad significativa de agua sólo se puede almacenar dentro de la matriz cristalina en forma de cristales de agua. Las sustancias cristalinas no absorben agua hasta que se disuelven en una humedad relativa específica (por ejemplo, 73 ~ 75 % de humedad relativa para el NaCl o 83 ~ 85 % de humedad relativa para la sacarosa). Las Sustancias amorfas hidrófilas se comportan de manera diferente cuando son expuestas a una creciente humedad relativa, ellos absorben cantidades crecientes de agua con el aumento de la humedad relativa, las moléculas de agua se almacenan dentro del volumen libre que queda dentro de la matriz amorfa. En contraste con los materiales cristalinos no se puede definir una humedad crítica en que podrían disolverse las partículas. Con el aumento de contenido de agua la viscosidad de los amorfos disueltos disminuye y finalmente se obtiene una solución diluida de la sustancia (Hartmann & Palzer, 2010).

#### **2.5. HIGROSENSIBILIDAD**

Los cambios en las propiedades físico-químicas de los materiales vinculados al cambio del contenido de agua se conocen como higrosensibilidad. Las sustancias amorfas y cristalinas demuestran una higrosensibilidad significativamente diferente. Las sustancias cristalinas conservan sus propiedades mecánicas al aumentar la humedad hasta que se disuelven a una humedad relativa crítica específico de la sustancia del aire circundante. En la mayoría de los casos la solución resultante tiene una viscosidad baja o mediana. Tales sustancias cristalinas solubles en agua entre ellos diversos minerales mono y disacáridos no proporcionan una alta viscosidad debido a su bajo peso molecular.

Los materiales amorfos solubles en agua no se disuelven como las sustancias cristalinas a medida que su contenido de agua aumenta. Ellos ya tienen un líquido como la estructura supra-molecular a pesar de que son percibidos como sólidos. El agua no disuelve partículas amorfas, pero emigra en la matriz molecular amorfa. El agua almacenada en la matriz amorfa tiene un efecto plastificante en la estructura amorfa. La viscosidad y la elasticidad del material disminuyen con el aumento del contenido de agua. En paralelo, la temperatura de transición vítrea disminuye debido a la absorción de agua. La disolución de KCl o NaCl atrae una gran cantidad de agua en la mezcla de polvo y como consecuencia la sustancia amorfa absorbe más agua. Por consiguiente, la mezcla de un amorfo y una sustancia cristalina tiene una mayor capacidad de absorción de agua y se plastifica más rápido que la sustancia amorfa pura (Hartmann & Palzer, 2010).

Cuando ocurre la aglomeración la humedad se identifica a menudo como el elemento causa. Por lo tanto, es muy importante conocer la sensibilidad al agua y la higroscopicidad de los principales componentes del polvo para predecir la cinética de aglomeración. Muchos alimentos en polvo y mezclas de ingredientes alimenticios se complican por el hecho de que contienen muchos componentes diferentes, y esto hace que sea difícil predecir su comportamiento de flujo. Por otra parte, durante la manipulación, almacenamiento, procesamiento y distribución al consumidor final, los polvos pueden experimentar variaciones de las temperaturas y humedades atmosféricas, que pueden alterar el comportamiento y la apariencia de los polvos (Fitzpatrick et al., 2010).

## 2.6. CONTROL DE LA TEMPERATURA

Como podríamos mantener, la temperatura adecuada en un horno para un tratamiento de un mineral en una refinera o como podríamos hacer un control de un sistema de calefacción. Es aquí donde entran los controladores que rigen el comportamiento de la temperatura. Un sistema de control de temperatura obtiene la temperatura del ambiente a medir mediante un sensor, y esta señal es tratada ya sea digital o analógicamente (según el tipo de control a tratar). Y luego pasa a un sistema de control el cual activa, desactiva, aumenta o disminuye el sistema que estará encargado de mantener la temperatura (Ocmin, 2013).

### 2.6.1. HORNOS ELÉCTRICOS

Los hornos eléctricos son equipos que operan a temperatura superior a la ambiental y que calientan piezas en su interior por acción directa o indirecta del flujo eléctrico, es decir, del movimiento de electrones en el seno de un material. Las partes básicas de un horno eléctrico son: Cámara de calentamiento: es el espacio físico donde se coloca la pieza a calentar. Elementos eléctricos: son numerosos y son los responsables del calentamiento de la pieza, basándose en diferentes principios físicos. Revestimiento aislante: es necesario para minimizar las pérdidas de calor al ambiente. Los hornos eléctricos son totalmente automatizados; la cocción es la más perfecta por el control que se mantiene sobre la temperatura en todo momento (Ossa, 2011).

A continuación se muestra algunas especificaciones del control de la temperatura en hornos eléctricos (NovaVisión, 2014).

- Mando de ajuste de la temperatura (el controlador más usado por Nova es el PID = Proporcional Integral Derivativo).
- Indicador de LED de desviación (se ilumina cuando la temperatura es inferior a la del punto ajustado, cuando la temperatura está dentro del margen de  $\pm 1$  % de

la escala completa contra el punto ajustado y cuando la temperatura es superior a la del punto ajustado.

- Indicación de funcionamiento e indicador de temperatura, ajuste de sensibilidad.

## **2.7. PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES**

Cuevas et al. (2010) indica que el procesamiento digital de imágenes puede definirse como la operación de imágenes mediante computadora. La materia prima del procesamiento de imágenes, son las imágenes, las cuales se consideran como una representación del mundo físico que tiene información importante, la cual es captada mediante un proceso de muestreo, generalmente por medios electrónicos. Para poder obtener imágenes digitales, se requiere de un proceso que involucra captura, muestreo, cuantificación y codificación. Una imagen puede definirse como una función bidimensional que cuantifica la intensidad de la luz (el espectro visible es el más común). Una imagen normalmente es representada como  $I(x,y)$ , donde el valor de la intensidad se obtiene por el indexado de las coordenadas  $x$  e  $y$ . El modelo más común de representación de la imagen es por medio de una matriz.

### **2.7.1. TIPOS DE IMÁGENES EN MATLAB**

El Matlab permite la manipulación de los siguientes tipos de imágenes (Cuevas et al., 2010):

#### **2.7.1.1. Imágenes a escala de grises**

Una imagen a escala de grises es una matriz cuyos valores han sido escalados para representar un determinado número de intervalos. Si la imagen es del tipo `uint8` entonces los datos que la conforman se encuentran en el intervalo  $[0, 255]$ . Si la imagen

es del tipo *double*, entonces los datos que la constituyen son del tipo *float* y se encuentran en el intervalo [0,1].

### 2.7.1.2. Imágenes binarias

Una imagen binaria del tipo *logical* se representa en Matlab como un arreglo que solo contiene unos y ceros. Estos ceros y unos son especiales, porque no implican valores numéricos, sino más bien banderas que indican el estado de falso (0) o verdadero (1).

#### a) Características geométricas de los objetos binarios

Como característica de un objeto binario se denomina a una determinada medida cuantitativa, la cual puede ser obtenida por cálculo directo de los píxeles que lo componen. Un objeto  $O$  de una imagen binaria puede ser interpretada como una distribución de puntos de valor uno  $x_i = (x,y)$  en una rejilla bidimensional, esto es:

$$O = \{x_1, x_2, \dots, x_N\} = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_N, y_N)\} \quad \text{Ec. (3)}$$

Para el cálculo de la mayoría de las características geométricas, un objeto es considerado como un agrupamiento de unos que se encuentran agrupados bajo un criterio de vecindad.

**Área:** El área de una objeto  $O$  puede ser calculada sencillamente mediante el número de píxeles que lo conforman. Esto es:

$$\text{Area}(O) = N = |O| \quad \text{Ec. (4)}$$

### 2.7.1.3. Imágenes de color RGB

El modelo de color RGB, se basa en la combinación de los colores primarios rojo (R), verde (G) y azul (B). El origen de este modelo se encuentra en la tecnología de la televisión y puede ser combinada como la representación fundamental del color en las computadoras, cámaras digitales y escáneres, así como en el almacenamiento de

imágenes. La mayoría de los programas para el procesamiento de imágenes y de representación gráfica utilizan este modelo para la representación interna del color. El modelo RGB es un formato de color aditivo, lo que significa que la combinación de colores se basa en la adición de los componentes individuales considerando como base el negro. Este proceso puede imaginarse como el traslape de 3 rayos de luz de colores rojo, verde y azul, los cuales son dirigidos hacia una hoja de papel blanca, y cuya intensidad puede ser continuamente controlada. La intensidad de los diferentes componentes de color determina tanto el tono como la iluminación de color resultante. El blanco y el gris o tonalidades de gris son producidos de igual manera a través de la combinación de los tres correspondientes colores primarios RGB (Cuevas et al., 2010).



### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

Los ensayos experimentales del presente trabajo de investigación se llevaron a cabo en el laboratorio de Ingeniería Agroindustrial (Sección de Análisis de Imágenes) y en el Laboratorio de Pos-cosecha de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno.

#### 3.2. MATERIAL EXPERIMENTAL

Para los ensayos se utilizó muestras de alimentos instantáneos (Nesquik cereales andinos y Ecco con cereales andinos, Nestlé Perú S.A.) que se obtuvieron directamente de un envase Doy Pack nueva (sellado y con cierre hermético) adquiridos en el Supermercado Plaza Vea de la ciudad de Puno y la harina extruida de quinua (variedad Salcedo INIA y Blanca de Juli) que se obtuvieron de la Planta de Servicios Agroindustriales “El Altiplano S.A.C”.

#### 3.3. MATERIALES Y EQUIPOS

##### 3.3.1. Materiales

- Dos resistencias eléctricas de 40 Watts, 220 V.
- Un termostato de 0 ~ 90 °C con un sensor RTD.
- Plancha de acrílico transparente de 0.5 x 0.5 m.
- Plancha de aluminio 0.50 x 0.50 m, 1/20 pulgadas de espesor.
- Asbesto de 1/16 pulgadas de espesor.
- Madera de 1cm de espesor.
- Tubo de Tygo 4 m (siliconado).
- Un matraz Kitasato de 250 ml (Pyrex).



- Diez cubreobjetos.
- Cables de alimentación.
- Cuatro terminales de Bronce.
- Borneras y remaches 1/16 pulgadas.
- Cocina eléctrica Ohaus.
- Vernier digital (Stanley).
- Lupa.
- Pinzas.
- Tela negra.
- Tapones de jebe.
- Pegamento.
- Cutter.
- Lija.

### 3.3.2. Sustancias

- Sílica gel con indicador de humedad (naranja).GE 00421000.Sharlab S.L.
- Agua destilada.
- Agua desionizada.

### 3.3.3. Equipos

- Una cámara digital D7000 réflex (SLR) con objetivo micro de  $\Phi = 52$  mm.  
(Nikon Corporation, Tailandia).
- Una computadora: Potencia DC 19V; 1.3A; Serie 206RKSB1E246; Modelo E1951CR.
- Balanza analítica digital, marca AND FR-300 Japón, capacidad 0.0001~1000 gr.

- Dos bombas de aire para acuario, marca SOBO, SB - 248<sup>a</sup>, con una de potencia de 3 W, capacidad 3.5 L/min y una presión de 0.02 Mpa.
- Termohigrómetro con sensor externo de temperatura y humedad relativa, Marca Traceable - Control Company, modelo 4154, calibrado con ISO 17025.
- Baño maría electrónico digital. Series CDK - S, Rango: +5 °C ~ 99 °C, Temperatura de fluctuación  $\pm 0.5$  °C.
- Analizador de humedad de la serie PMC 50, Marca RADWAG 26-600.
- Termómetro de 150 °C (Pyrex).

#### 3.3.4. Software

- Herramienta MATLAB<sup>R2010a</sup> (Matrix Laboratory), versión 7.10.0.499.
- Herramienta software Camera Control Pro 2, versión 2.8.001.
- SigmaPlot 12.0 (Exact Graphs and Data Analysis).
- Paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System).

#### 3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

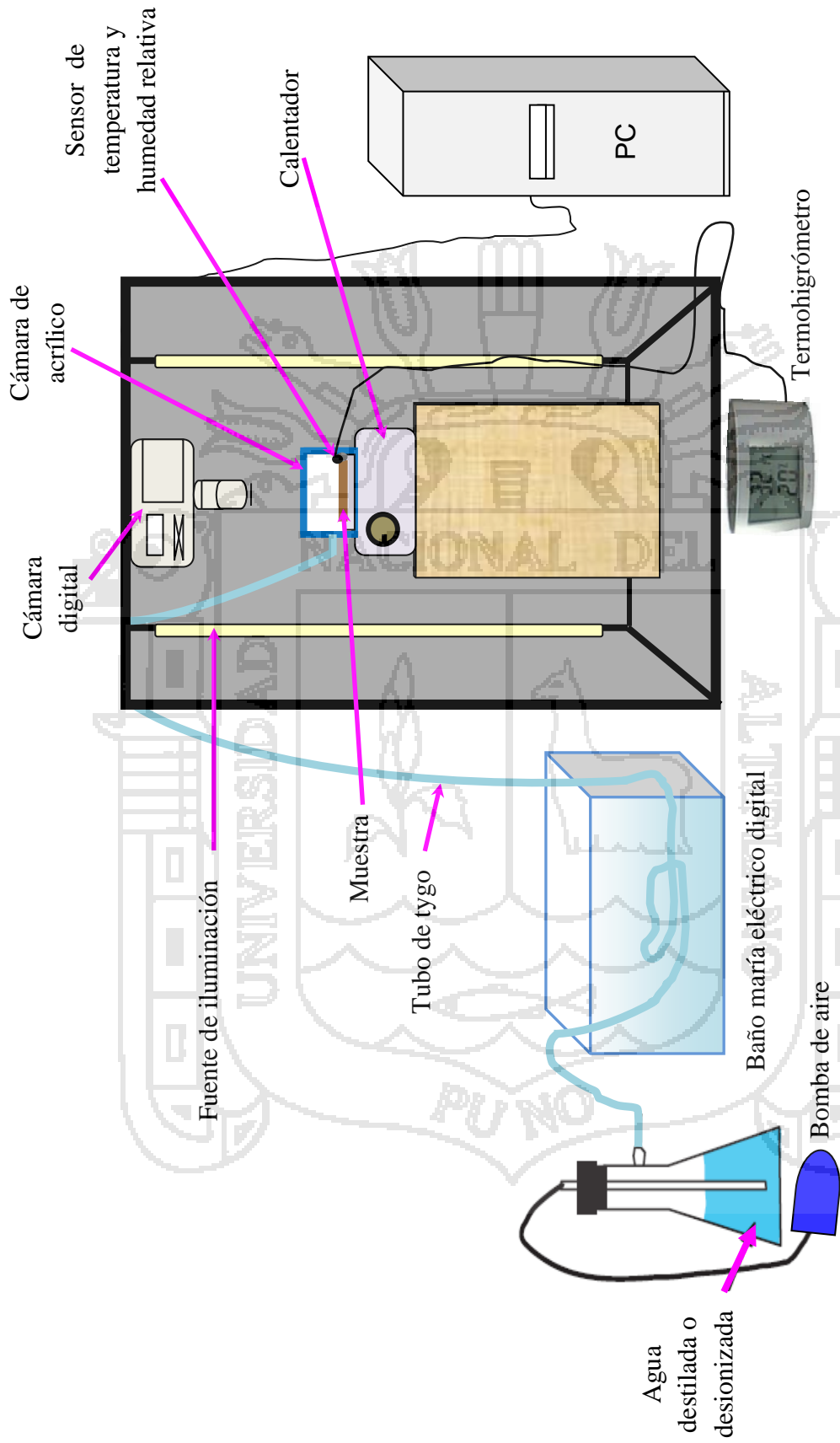
La metodología que se empleó para evaluar el fenómeno de la aglomeración, es una adaptación a la metodología empleada por los investigadores: Saragoni, Aguilera y Bouchon (2007) del departamento de Ingeniería Química y Bioprocesos - Pontificia Universidad Católica de Chile.

### 3.4.1. ARREGLO EXPERIMENTAL

El diseño del sistema para el control de las condiciones críticas se llevó a cabo de la siguiente manera (ver Figura 3):

- Se construyó una cámara de acrílico con un fondo abierto, con dimensiones de 7 x 7 x 3 cm (largo-ancho-altura); se utilizó este material por sus propiedades térmicas como aislante (control del clima) y resistencia (máximo 80 °C).
- El control de la humedad relativa (HR) en la cámara se logró con aire burbujeante de agua destilada o agua desionizada generado con dos bombas de aire para acuario con potencia de 3 Watts y con una intensidad de corriente eléctrica de 248 Amperios. Los detalles se reportan en el Anexo II.
- El aire humidificado se llevó a la cámara acrílica a través de un tubo de tygo porque este material tienen una gran flexibilidad y resistencia al calor, ya que esta se sumergió en un baño de agua a temperatura controlada (Baño maría eléctrico digital, Serie CDK - S).
- El control de la temperatura en el interior de la cámara de acrílico, se llevó a cabo con un sistema construido con una resistencia eléctrica de 40 watts, 220 V y un termostato de 0~90 °C con un sensor RTD (Resistance Temperature Detector = termómetro de resistencia) (ver Figura 7).

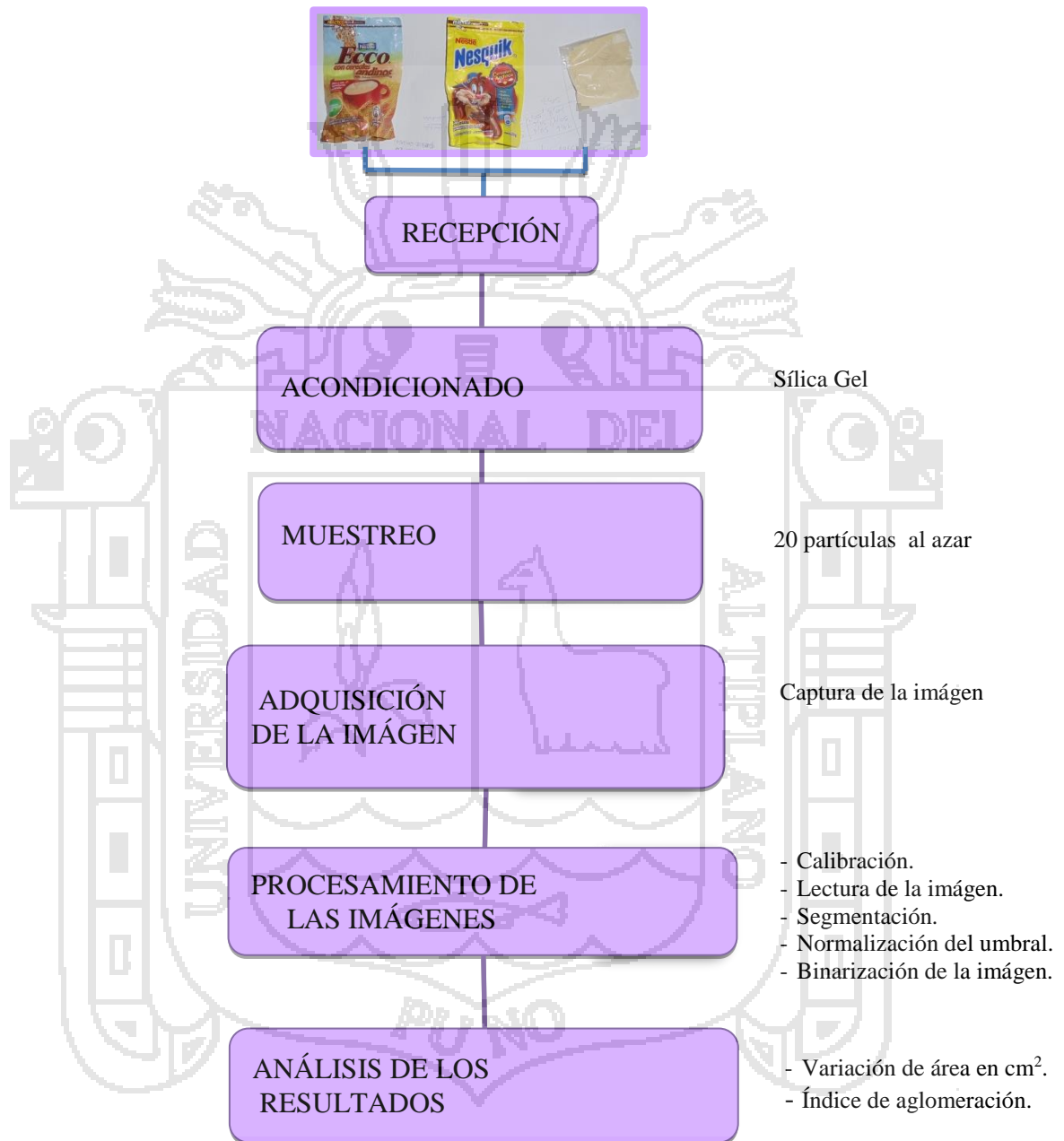
A continuación, se esquematiza la experimentación que se realizó:



**Fig. 3.** Montaje experimental utilizado para determinar el área proyectada de las partículas con el sistema de adquisición de imágenes, en condiciones controladas de temperatura, humedad relativa y tiempo.

### 3.4.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO EXPERIMENTAL

Para la evaluación del fenómeno de aglomeración mediante el análisis de imágenes, se siguió el diagrama de flujo presentado en la Figura 4.



**Fig. 4.** Diagrama de flujo para la evaluación del fenómeno de aglomeración, mediante el análisis de imágenes.

#### **3.4.2.1. Recepción de la muestra**

Se recepcionó los alimentos instantáneos: Ecco con cereales andinos, Nesquik cereales andinos y la Harina extruida de quinua.

#### **3.4.2.2. Acondicionamiento de la muestra**

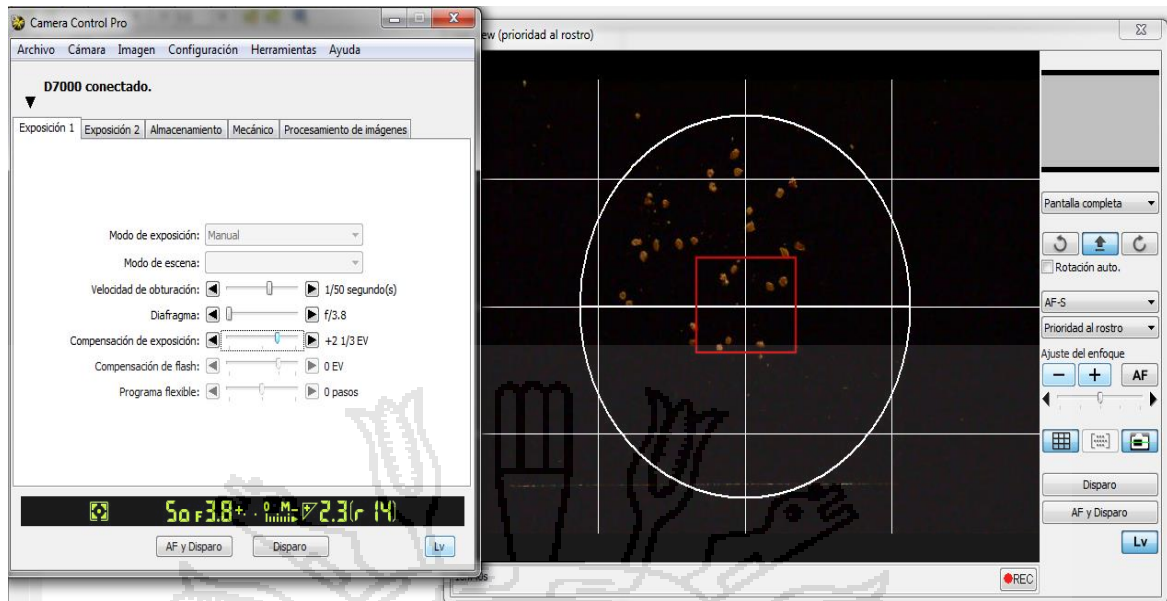
Las muestras fueron almacenadas en un desecador con Sílica Gel (con indicador de humedad naranja) por una semana, con el objetivo de estandarizar el contenido de humedad de las muestras. Posteriormente se determinó el contenido de humedad de las muestras en el analizador de humedad de la serie PMC 50 (Ver Anexo I).

#### **3.4.2.3. Muestreo**

Se cogieron al azar 20 partículas, que fueron rociadas sobre un cubreobjeto, ordenándolas con una pinza y una lupa para tener tantas unidades individuales como sea posible, luego se colocaron en la cámara de acrílico.

#### **3.4.2.4. Adquisición de las imágenes**

Las imágenes fueron capturadas dentro de una caja de color negro con una cámara digital D7000 reflex (SLR) con objetivo micro ( $\Phi = 52$  mm), ubicado verticalmente a una distancia focal de 0.17 m y con cuatro fuentes de iluminación (fluorescentes) a los costados. El manejo de la cámara se realizó mediante el software Camera Control Pro 2, versión 2.8.001. Los ajustes para las fotografías fueron los siguientes:



**Fig. 5.** Ajustes en el software Camera Control Pro 2. Para la toma de imágenes de las partículas de alimentos a base de cereales instantáneos.

#### 3.4.2.5. Procesamiento de las imágenes

Las imágenes grabadas se procesaron utilizando una rutina en la herramienta MATLAB<sup>R2010a</sup>, para determinar los cambios del área proyectada de las partículas. Cada imagen se calibro para que las áreas se obtengan en cm<sup>2</sup>, luego se realizó con algoritmos propios de la rutina todos los procesos necesarios para cuantificar los resultados, como la lectura de la imagen, segmentación, normalización del umbral y ajustes si fuera necesario, binarización de la imagen, finalmente la extracción del área de las partículas en las imágenes binarizadas. Para la calibración se tomó en cuenta las siguientes medidas:

Ancho del cubreobjeto = 2.196 cm

Ancho de la imagen tomada del cubreobjeto = 18.7 cm

Ancho de la imagen tomada = 28 cm.

Por consiguiente la medida real de la imagen será = 3.288 cm.

Calibración: longueur = 3.288/4928.

Para el ajuste del umbral se detallan en la Tabla 5:

**Tabla 5.** Especificaciones de la umbralización de las imágenes.

ALIMENTO INSTANTÁNEO	UMBRALIZACIÓN	FUNCIÓN DE MATLAB
Harina extruida de quinua	No fue necesario ajustarla porque no presentó brillo.	level = graythresh(I13);
Nesquik cereales andinos	Se ajustó su umbral normalizada, ya que estas partículas al aglomerarse se hacen vítreas por consiguiente generaron un cierto brillo.	level1=level - level*0.60;
Ecco con cereales andinos		

#### 3.4.2.6. Análisis: Área proyectada de las partículas

Se analizó el cambio de las áreas proyectadas (PA) de las partículas amorfas, con la finalidad de determinar el índice de aglomeración de los alimentos a base de cereales instantáneos. Para dicho fin se utilizó la ecuación planteada por Saragoni et al. (2007) que define el índice de aglomeración como:

$$\emptyset(t) = \frac{PA(t) - PA(0)}{PA(0)} \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde: PA(0) y PA(t) son los valores de la media del área proyectada de las partículas en el inicio del experimento y en cualquier tiempo t.



### 3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Para procesar los datos obtenidos durante esta investigación se aplicó el experimento factorial de la serie 3<sup>n</sup>, bajo el diseño completo al azar. Porque se evaluó el fenómeno de la aglomeración bajo tres factores: condición crítica (temperatura - humedad relativa), tratamientos (tres tipos de productos instantáneos) y tiempo.

El modelo estadístico lineal aditivo es el siguiente (Ibáñez, 2009):

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

$i= 1,2$  niveles de condiciones críticas (min-max).

$J=1,2,3$  tratamientos (Ecco con cereales andinos , Nesquik cereales andinos y Harina extruida de quinua).

$k= 1,2,3,4$ , (tiempo).

$l= 1,2$  y 3 (repeticiones).

Dónde:

$Y_{ijkl}$  = Es el índice de aglomeración de la  $i$ -ésima observación bajo el  $k$ -ésimo tiempo, en el  $j$ -ésimo tratamiento sujeto al  $i$ -ésimo nivel de condición crítica.

$\alpha_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo nivel de condición crítica.

$\beta_j$  = Efecto del  $j$ -ésimo tratamiento.

$\gamma_k$  = Efecto del  $k$ -ésimo tiempo.

$(\alpha\beta)_{ij}$  = Efecto de la interacción del  $i$ -ésimo nivel de condición crítica, con el  $j$ -ésimo tratamiento.

$(\alpha\gamma)_{ik}$  = Efecto de la interacción del  $i$ -ésimo nivel de condición crítica, en el  $k$ -ésimo tiempo.

$(\beta\gamma)_{jk}$  = Efecto de la interacción del  $j$ -ésimo tratamiento, en el  $k$ -ésimo tiempo.

$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ =Efecto de la interacción del i-ésimo nivel de condición crítica, en el j-ésimo tratamiento, sujeto al k-ésimo tiempo.

$\varepsilon_{ijkl}$  =Efecto del error experimental.

Además se realizó un análisis de varianza (ANVA) para evaluar si resulta significativo ( $P < 0.05$ ) o no la interacción entre las variables de estudio. Finalmente se hizo la prueba de comparación de Duncan para efectuar comparaciones múltiples entre dos medias de tratamientos del experimento. Estos análisis se realizaron en el Paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System).

#### **FACTORES EN ESTUDIO:**

- Condiciones críticas.
- Alimentos instantáneos base de cereales andinos.
- Tiempo (factor interviniente).

#### **VARIABLE RESPUESTA:**

- Índice de aglomeración =  $\emptyset$  (adimensional).

El esquema que se siguió para la recolección de los datos para cada tipo de alimento instantáneo, fue el siguiente:

**Tabla 6.** Esquema de recolección de datos.

CONDICIÓN CRÍTICA	C1					C2					C3				
TIEMPO	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	t <sub>4</sub>	...	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	t <sub>4</sub>	...	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	t <sub>4</sub>	...
1															
2															
3															

Dónde:

C1 = Condición crítica de  $65 \pm 1$  % HR y  $30 \pm 1$  °C.

C2 = Condición crítica de  $85 \pm 2$  % HR y  $25 \pm 2$  °C.

C3 = Condición crítica de  $95 \pm 2$  % HR y  $20 \pm 1$  °C.

1,2 y 3 = Número de repeticiones.

Se eligió estos valores para asegurar que las temperaturas de transición vítrea ( $T_g$ ) de los alimentos instantáneos se redujeran por debajo de los  $20$  °C, de esta manera experimentar y evaluar el fenómeno de aglomeración. Además para simular las condiciones que podrían experimentar los alimentos instantáneos durante su almacenamiento o manipulación. Por ejemplo Fitzpatrick et al (2010) en su investigación “*Comparing the caking behaviours of skim milk powder, amorphous maltodextrin and crystalline common salt*”, eligió valores de 76 % y 100 % HR a  $25$  °C, para disminuir la  $T_g$  de las muestras atomizadas y exponer la sal cristalina a una humedad relativa mayor de su humedad relativa crítica. Hartmann y Palzer (2010) indican que esta humedad crítica es: 73 ~ 75 % HR para el NaCl y 83 ~ 85 % HR para la sacarosa.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1. DEL DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA PARA EL CONTROL DE LA TEMPERATURA

#### 4.1.1. SISTEMA MECÁNICO

Se buscó construir un sistema que sea completamente funcional para llevar el control de la temperatura en la cámara de acrílico y con ello el control de la humedad relativa.

##### **El armazón**

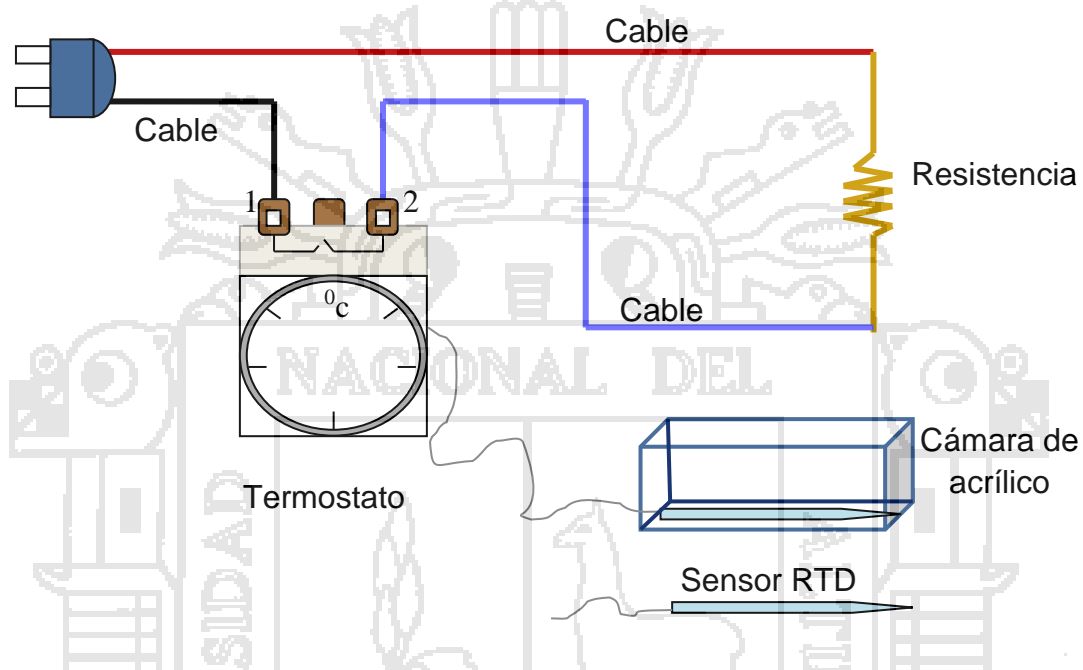
El armazón fue confeccionado en plancha de aluminio de 1/20 pulgadas de espesor, doblándolo en forma de un cubo, con dimensiones de 10.4 x 10.4 x 7 cm (largo-ancho-altura), en donde se instaló el termostato de 0 ~ 90 °C con un sensor RTD (Resistance Temperature Detector = termómetro de resistencia), sujetado con remaches de 1/16 pulgadas (ver Figura 7).

##### **Instalación de la resistencia eléctrica**

En la plataforma superior del armazón se ensambló una resistencia eléctrica de 40 watts de potencia, luego el bulbo sensor del termostato, todo ello en una cama de plancha de asbesto de 1/16 pulgadas de espesor como aislante térmico y una plancha de madera de 1cm de espesor. Posteriormente se encapsulo todo el conjunto armado en una plancha de aluminio, quedando de esta manera como una plancha térmica calefactora (ver Figura 7).

### Circuito eléctrico armado para el sistema

A continuación en la Figura 6, se muestra el circuito que se utilizó para el diseño del sistema.



**Fig. 6.** Circuito utilizado para el diseño del sistema de control de la temperatura.

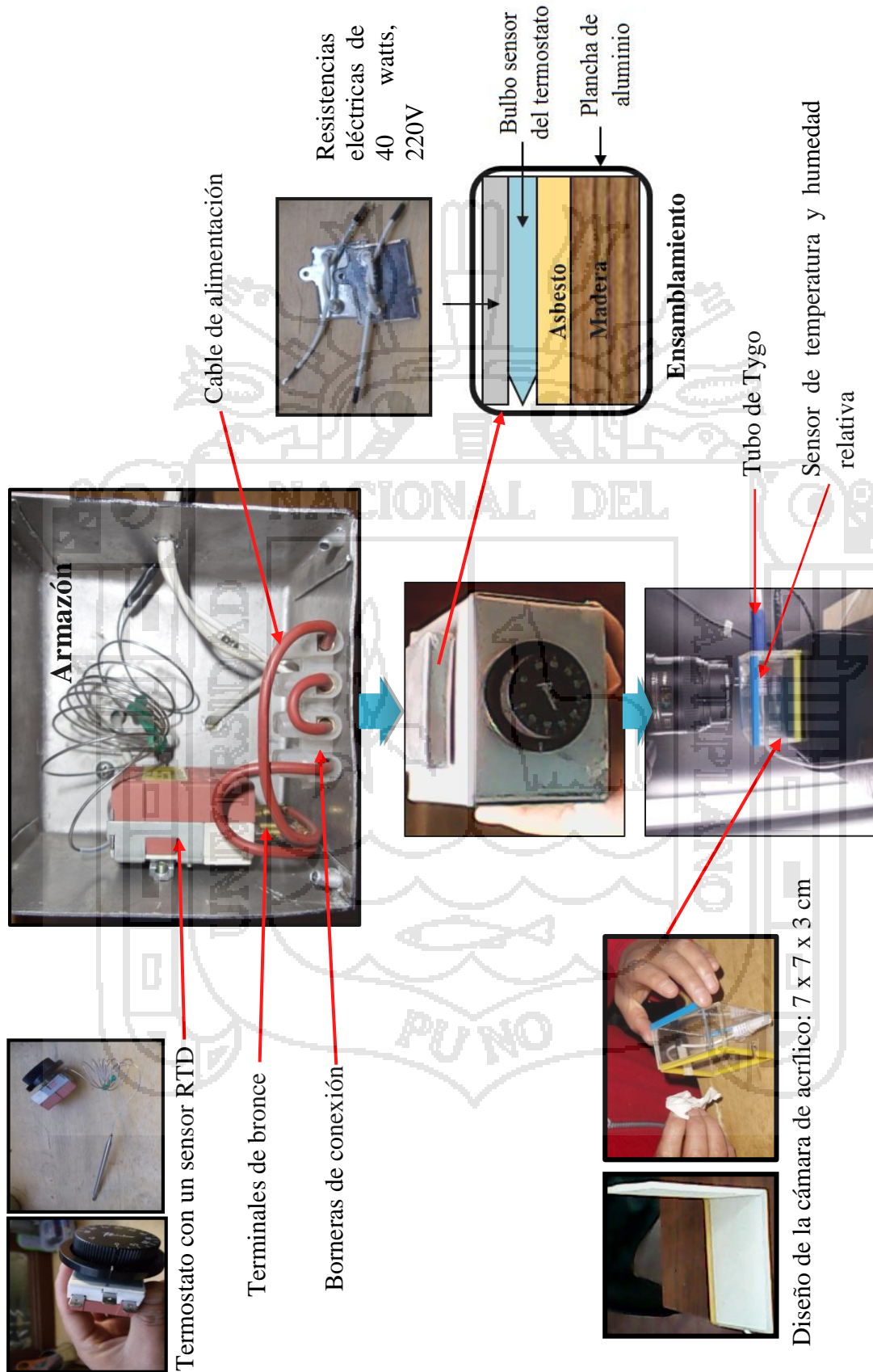


Fig. 7. Diseño del sistema para el control de la temperatura.

#### 4.1.2. PRUEBA DEL SISTEMA

Con estas pruebas se pretende demostrar el grado de eficiencia del sistema para el control de la temperatura. En la tabla 7 y figura 8 se presentan los resultados. Los datos completos se reportan en el Anexo III.

**Tabla 7.** Precisión de la temperatura programada en el sistema.

Temperatura programada en el sistema (°C)	Promedio de las lectura en el termohigrómetro (°C)	Promedio de la precisión en las lecturas	Nivel de precisión (%)
15	14.83 ± 0.76	1.40	99
20	19.93 ± 0.91	1.50	100
25	24.81 ± 1.12	2.00	99
30	29.71 ± 0.77	1.50	99
35	35.08 ± 0.58	- 1.00	100
40	39.59 ± 0.96	- 1.50	99
45	44.77 ± 0.91	2.00	99
50	50.41 ± 0.38	- 0.80	100
<b>Precisión del sistema</b>		± 2.00	99.5%

n = 10

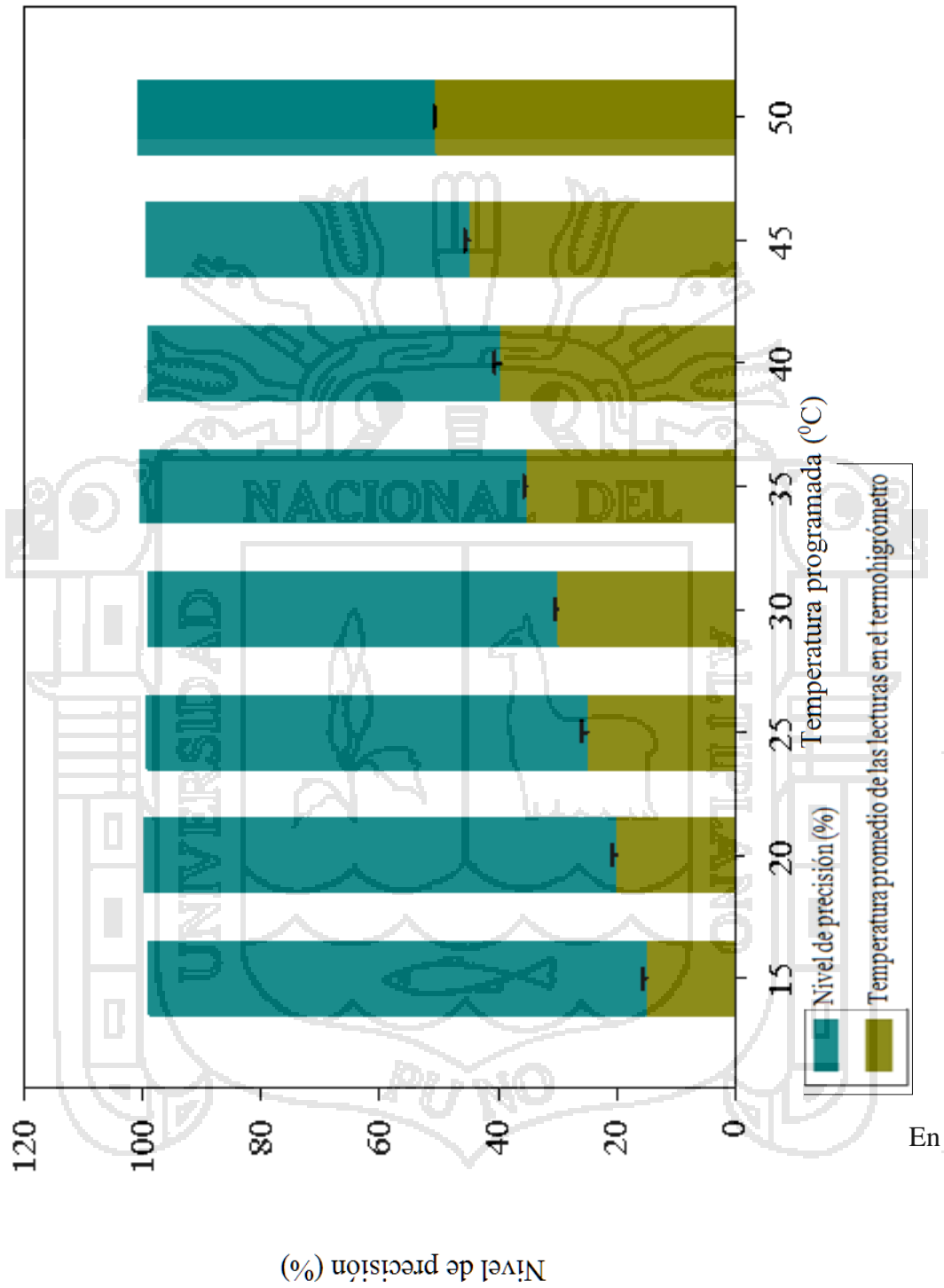


Fig. 8. Nivel de precisión del sistema diseñado.

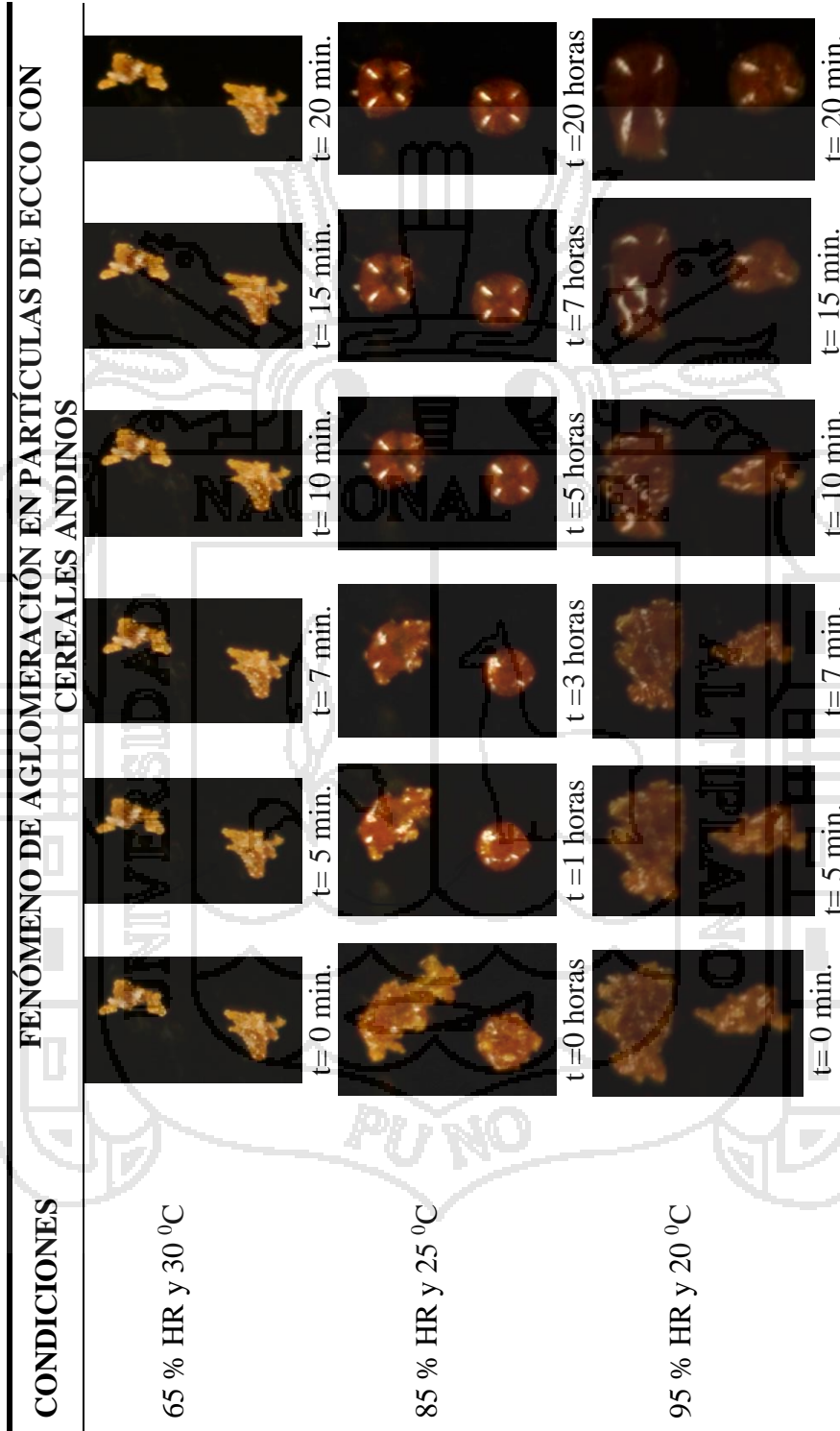


la Tabla 7 y Figura 8 se muestra el comportamiento del sistema diseñado para el control de la temperatura en la cámara de acrílico. En las temperaturas mínimas programadas la precisión fue menor ( $\pm 1.40 \sim \pm 2.00$ ) y a medida que se incrementó la temperatura programada la precisión en el sistema mejoró ( $\pm 0.40 \sim \pm 2.00$ ) con respecto a la temperatura leídas en el termohigrómetro. Por consiguiente la precisión en todo el sistema en funcionamiento resulto ser  $\pm 2.00$  °C con un nivel de precisión de 99.5%.

En comparación a un equipo industrial (horno eléctrico), el sistema diseñado no posee una precisión óptima en el control de la temperatura debido a que fue construido con un termostato analógico por lo que fue necesario realizar un escalamiento para aumentar la precisión. Mientras que un horno industrial lleva controladores especiales (termostatos digitales) que le dan una mayor precisión y costo al equipo. Ocmin, (2013) indica que en un horno la temperatura adecuada para un tratamiento se logra con controladores que rigen el comportamiento de la temperatura. Por ejemplo, el mando de ajuste de temperatura más usado por Nova es el controlador PID (Nova Visión, 2014).

#### **4.2. DEL COMPORTAMIENTO DEL FENÓMENO DE AGLOMERACIÓN IDENTIFICADAS EN LAS PARTÍCULAS**

En las Figuras 9, 10, 11 y 12 se presentan las imágenes del comportamiento del fenómeno de la aglomeración en los alimentos instantáneos que posiblemente sea generada por el alto contenido de proteínas que se encuentran principalmente en los cereales andinos. Barbosa et al. (2005) afirma que los polvos amorfos proteinizados como la proteína de pescado hidrolizado y la salsa de soja seca, se aglomeran rápidamente a altas temperaturas y humedades relativas. Un incremento en la humedad relativa reduce la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) del producto.

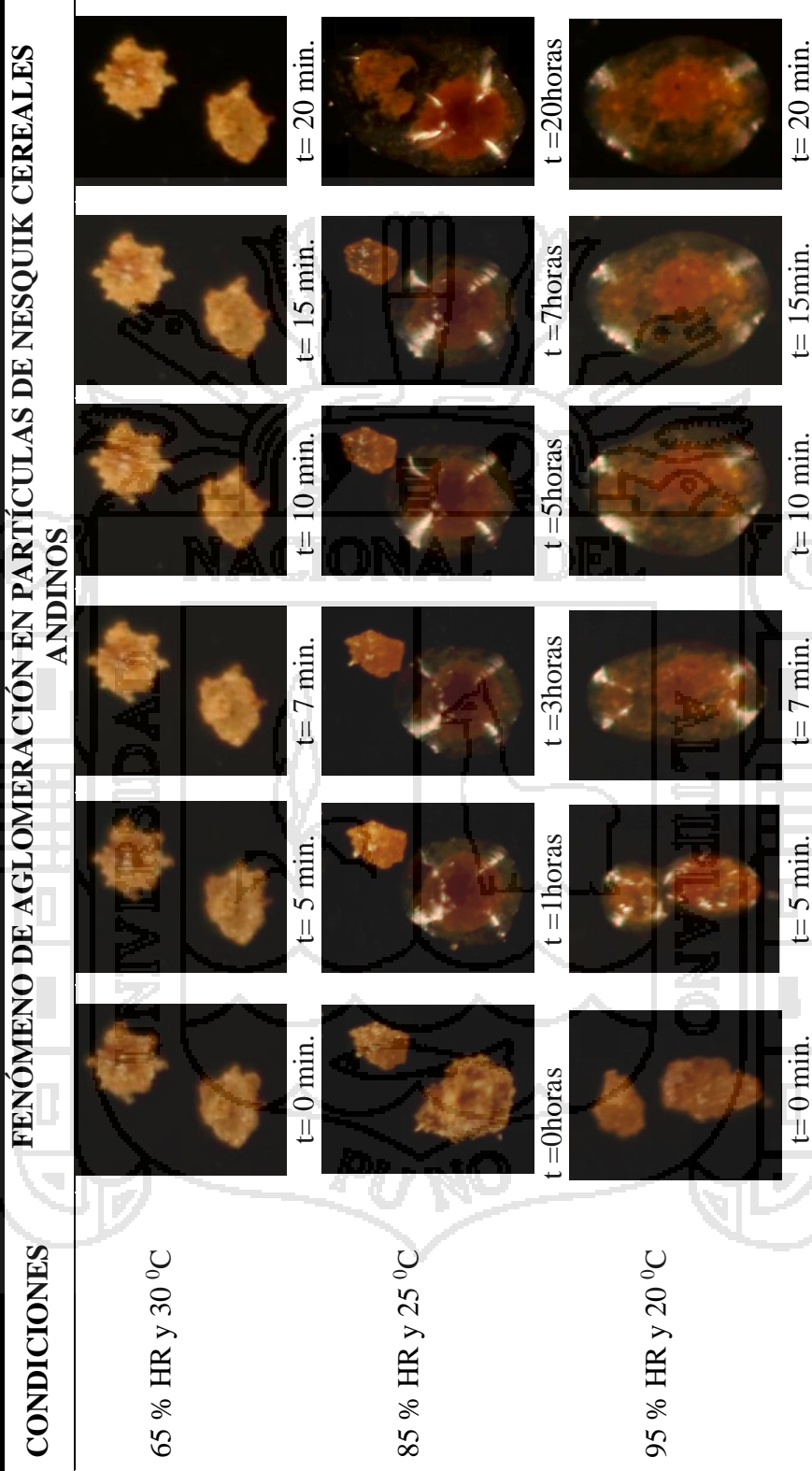


**Fig. 9.** Imágenes obtenidas con la cámara digital D7000 reflex con objetivo micro, de partículas amorfas en muestras de Ecco con cereales andinos.

Una de las características peculiares de las partículas de Ecco con cereales andinos (ver Figura 9) fue contraerse en los primeros instantes de la aglomeración luego haciéndose pegajosas tiende a incrementar su tamaño, esto se debe a la estructura fibrosa de las partículas que al ser sometidas a las condiciones críticas se observó que la porosidad y la forma irregular que presentan disminuye y la estructura misma de las partículas se hace más compacta (vítrea) y tienden a adoptar una forma definida (esférica o cuadrada), posteriormente al transcurrir el tiempo cuando la matriz de la partícula se satura (no tiene mayor capacidad de absorber humedad) tienden a hincharse. Razón por la cual Barbosa et al. (2005) clasifica a este tipo de comportamiento como aglomeración mecánica; que trata de la relación, partículas - forma y es causada por partículas entrelazadas, fibrosas o en forma de placa pero no con esferas.

Sierra (2003) afirma que la adhesión en este tipo de partículas puede estar relacionada con el aumento de las fuerzas de Van der Waals entre las partículas.

Las características de procesamiento de extrusión que podrían dar lugar a este tipo de aglomeración, es la inadecuada transformación del almidón (presencia de almidón dextrinizado) debido a factores como el contenido de humedad y temperatura de extrusión incorrectas en el proceso. Ya que el hinchamiento del almidón alcanza un máximo con el grado de modificación del mismo, disminuyendo con la dextrinización (Lin & Hshieh, 2002). Por ejemplo Cartagena (2005) afirma que los niveles de humedad mayores a 13% el almidón de la cañihua no es transformada adecuadamente. Además indica que una verdadera conversión del almidón se logra cuando se tiene un hinchamiento irreversible, lo que es cuantificado por el índice de absorción de agua.

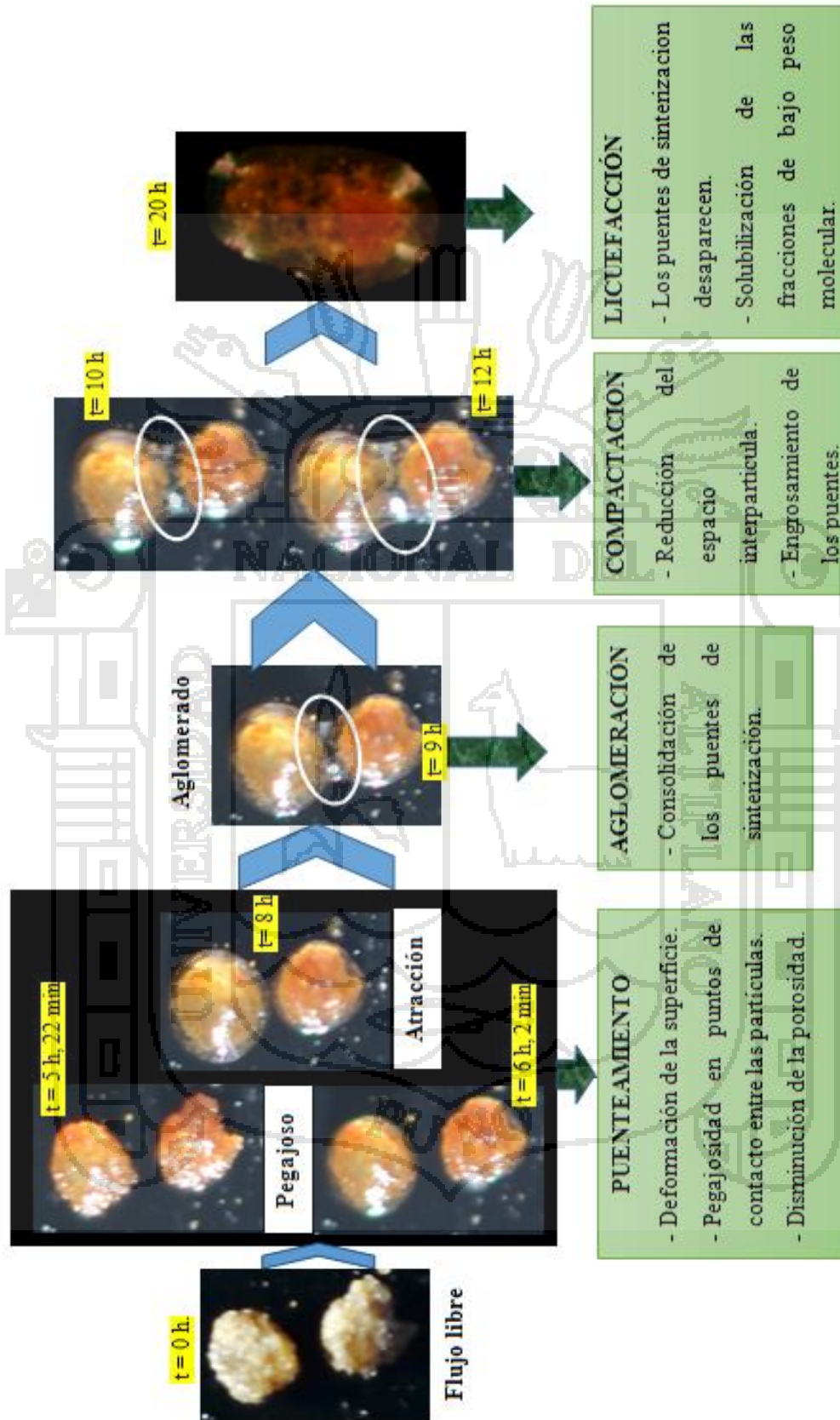


**Fig. 10.** Imágenes obtenidas con la cámara digital D7000 reflex con objetivo micro, de partículas amorfas en muestras de Nesquik cereales andinos.

cereales

En la Figura 10 se presenta la aglomeración de las partículas de Nesquik cereales andinos que se debió principalmente a las partículas cristalinas solubles en agua (azúcar instantánea, sal) y de la grasa que proviene especialmente del cacao en polvo (Nestle Perú S.A., 2012). Por consiguiente tal aglomeración es por la fusión de la grasa debido a la temperatura crítica y a la disolución parcial del azúcar y la sal que atraen una gran cantidad de agua en la mezcla de polvo y como consecuencia la mezcla de un amorfo y una sustancia cristalina tiene una mayor capacidad de absorción de agua y se plastifica más rápido que la sustancia amorfa pura (Hartmann & Palzer, 2010).

Además se observó que las partículas se adhieren juntándose en una sola forma de partícula, por ello, se le clasifica como un mecanismo de aglomeración de flujo plástico que usualmente ocurre en sustancias cristalinas y en materiales amorfos como lípidos y geles (Barbosa et al., 2005). Por ende, la gelatinización total del almidón por condiciones óptimas del proceso de extrusión, es otra de las posibles causas de este tipo de aglomeración. Ya que Cartagena (2005) indica que el efecto de la extrusión sobre los carbohidratos básicamente se da en la gelatinización del almidón, este efecto se incrementa con la temperatura y las condiciones adecuadas del contenido de humedad en la materia prima. Así el aumento de la humedad hasta 13 % y a una temperatura de 168.3 °C tiene un efecto positivo en la gelatinización del almidón de la cañihua.



**Fig. 11.** Etapas típicas de la aglomeración en dos partículas de Nesquik cereales andinos en condiciones críticas de 85 % HR y 25 °C (Adaptado a Aguilera et al., 1995).

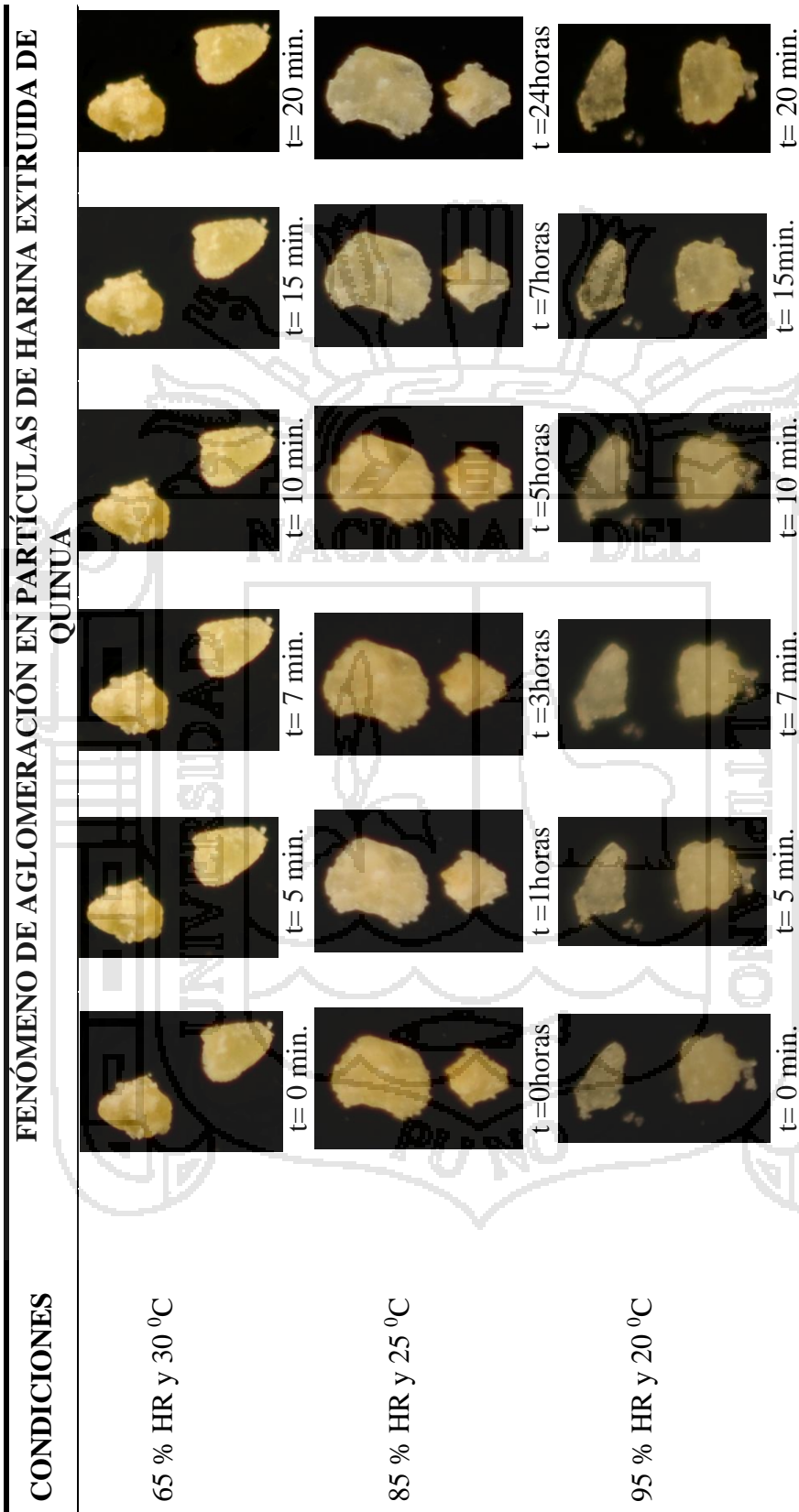


Por la presencia de partículas cristalinas en este tipo de alimento instantáneo (Nesquik cereales andinos) se pudo observar con mayor claridad las etapas típicas del fenómeno de aglomeración, que se esquematiza en la Figura 11, donde se presenta la formación del puente líquido de sinterización (destacada por círculo blanco) en dos partículas, los cuales se observan muy frágiles.

Fitzpatrick et al. (2010) señala que los polvos cristalinos por encima de una humedad relativa crítica, absorben agua rápidamente dando lugar a la formación de puentes líquidos y la disolución parcial de los componentes solubles en las superficies del cristal; y conceptúa a la sinterización como un proceso en el que las moléculas se mueven en el espacio existente entre dos partículas vecinas. Al respecto, Christakis et al. (2006) indica que las fuentes más comunes que causan la formación de puentes líquidos son: La fusión de los lípidos o azúcares amorfos en la superficie de la partícula debido a la temperatura elevada y a la liberación de agua absorbida de la cristalización de azúcares amorfos.

Hartmann y Palzer (2010) afirman que los polvos cristalinos forman puentes líquidos de baja viscosidad y bastante frágiles. Además indica que todos los materiales tienen la tendencia de reducir su área de superficie libre que está asociada con la energía específica del sistema. Para reducir el área mencionada en la unión de dos partículas, las moléculas son transportadas al punto de contacto entre ellas, así las partículas amorfas tienden a adoptar una forma esférica; tal proceso se denomina sinterización.

Finalmente, cabe aclarar que este tipo de aglomeración no se presentó en el Ecco con cereales andinos ni en la Harina extruida de quinua, porque estos no presentan partículas cristalinas en su composición (ver ingredientes señalados por Nestle Perú S.A., 2012).



**Fig. 12.** Imágenes obtenidas con la cámara digital D7000 reflex con objetivo micro, de partículas amorfas en muestras de Harina extruida de quinua.



En la Figura 12 se muestra el comportamiento del fenómeno de la aglomeración en las partículas de harina extruida de quinua, que a diferencia de los otros dos alimentos instantáneos no se observó la desintegración de las partículas ni la variación de su geometría en todas las condiciones sometidas. Al respecto, Dávila et al. (1992) señala que la extrusión produce cambios en la matriz del almidón lo que contribuye a una mayor retención de la grasa (impidiendo la fusión). Y los procesos térmicos que promueven la modificación de los almidones, incide en la disminución de la fibra dietética soluble (captan mucha agua y son capaces de formar geles viscosos).

Hartmann y Palzer (2010) afirma que la conservación de la forma de las partículas es debida a una matriz insoluble (por ejemplo, compuesto de celulosa y grasa) que impiden el colapso de su estructura. Por consiguiente podemos predecir que la aglomeración mínima que presenta, sea debido a las reacciones químicas en las que sus componentes solubles han sufrido una modificación (hidratación) ya que Barbosa et al., (2005) indica que este tipo de aglomeración química es el mecanismo más común presente en alimentos instantáneos.

Otro de los factores posibles que dio lugar a este tipo de aglomeración fue lo siguiente: Para la obtención de la harina extruida, se uso solo granos de quinua y el producto final no se mezcló con ningún otro componente; Esto hace que este producto tenga mayor cantidad de componentes insolubles en comparación a las dos mezclas instantáneas (Nesquick cereales andinos y Ecco con cereales andinos). Ya que Guy (2001) afirma que los polímeros insolubles como la hemicelulosa, celulosa y derivados de lignina provenientes de cascarillas y salvado de granos y semillas permanecen estables durante el proceso de extrusión. Esto explica la mayor estabilidad de estas partículas frente a las condiciones críticas.

Según las especificaciones técnicas proporcionada por la Planta de Servicios Agroindustriales “El Altiplano S.A.C.” (Lab. Biolatina S.A.C.), (ver Anexo VI), la harina extruida de quinua resultó tener un índice de gelatinización mayor al 94%, esto significa que es un producto apto para el consumo humano. Ya que en la Resolución ministerial Nro. 451-2006/MINSA; se indica que los alimentos cocidos de reconstitución instantánea deben cumplir con este requisito. Por su parte Salas (2010) afirma que el grado de cocción del almidón es un indicativo del grado de digestión que tendrá el alimento una vez consumido.

Finalmente, es necesario aclarar que en cada uno de las condiciones el comportamiento de cada tipo de alimento instantáneo es muy distinta ya que en la aglomeración de las partículas de Nesquik cereales andinos se observó la formación de puentes de sinterización, mientras que en las partículas de Ecco con cereales andinos y en la harina extruida de quinua no se observó este fenómeno. Al respecto Rios (2004) afirma que la adhesión de partículas sin formación de puentes (fuerzas de Van der Waals) forman aglomerados relativamente débiles. En cambio los que forman puentes, son más fuertes.

### **4.3. DEL ÍNDICE DE AGLOMERACIÓN**

#### **4.3.1. CAMBIO DE ÁREA DE LAS PARTÍCULAS**

El cambio de las áreas proyectadas de las partículas a consecuencia de los fenómenos de la aglomeración se presenta en las Figuras 13 y 14. Los datos completos se reportan en el Anexo IV.

CONDICIONES CRÍTICAS

95 % HR y 20 °C

85 % HR y 25 °C

65 % HR y 30 °C

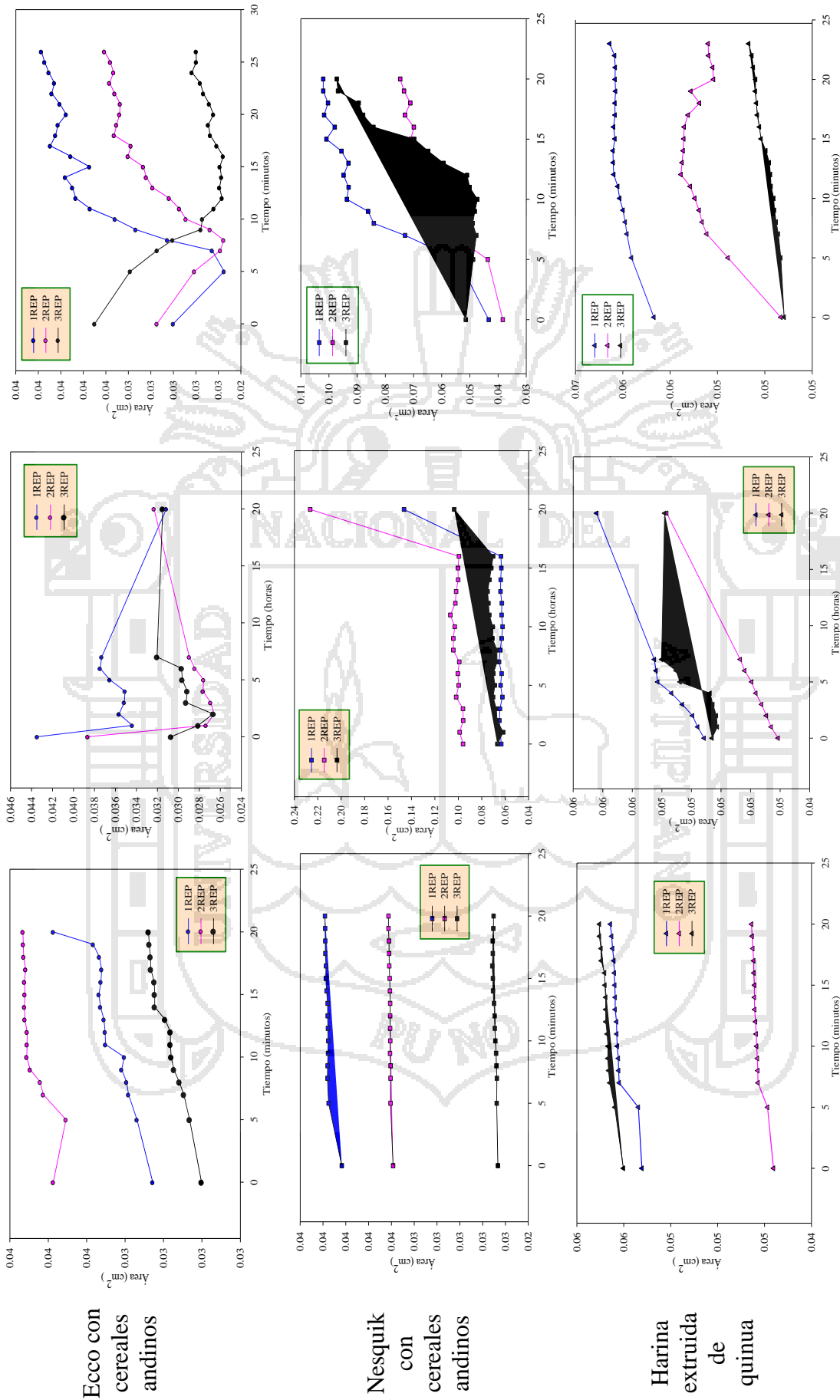
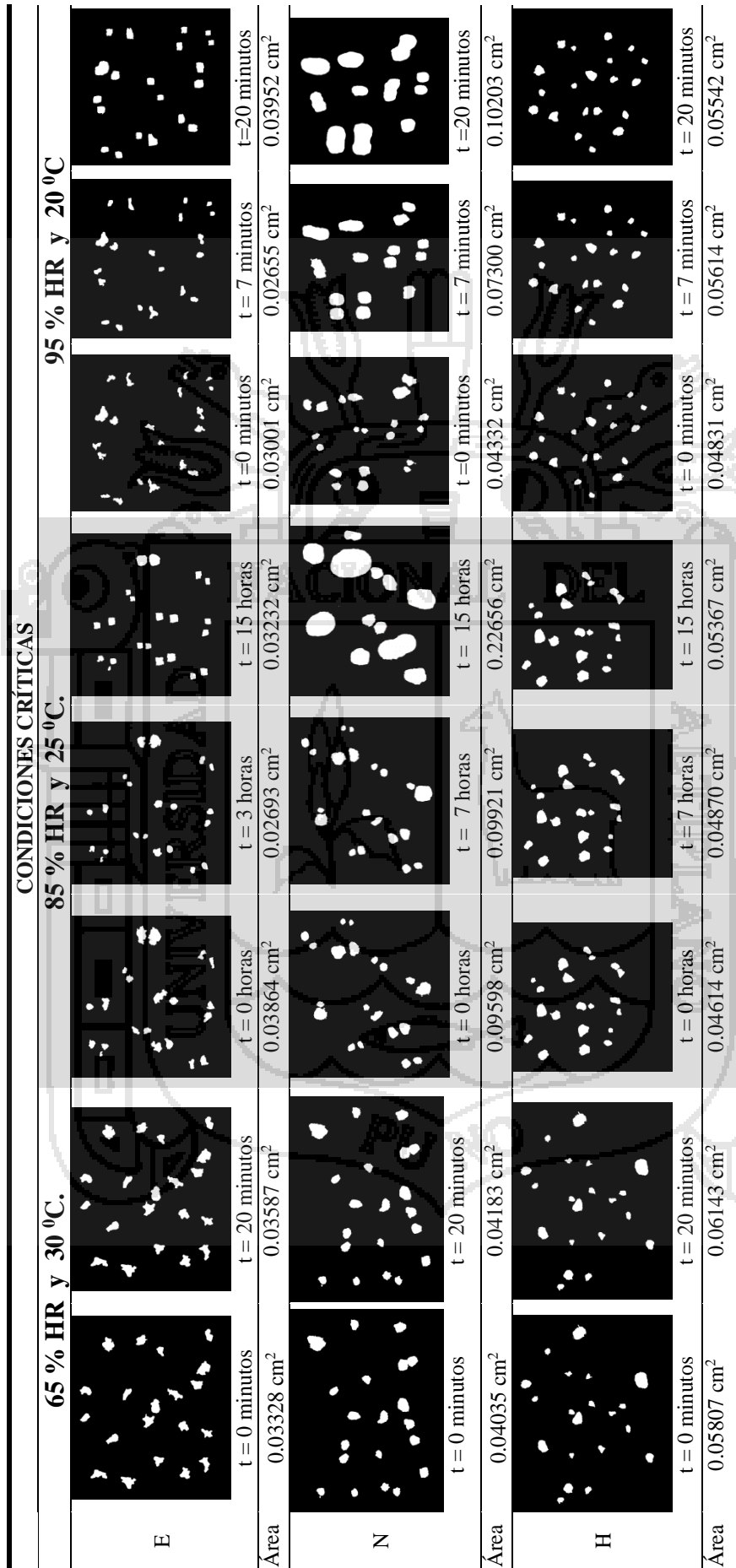


Fig. 13. Variación de las áreas proyectadas de las partículas en función del tiempo.



**Fig. 14.** Imágenes binarias de partículas de alimentos instantáneos (E=Ecco con cereales andinos, N=Nesquik cereales andinos, H= Harina extruida de quinua), que muestran el cambio de áreas proyectadas.

En la Figura 13 y 14 se observa que durante las primeras condiciones críticas las áreas proyectadas de las partículas en los tres alimentos instantáneos presentan un aumento ligero con la excepción de la segunda repetición en las partículas de Ecco con cereales andinos que en los 5 minutos iniciales desciende y posteriormente tiende a incrementarse. En estas condiciones las partículas de la harina extruida de quinua logró mayor incremento (por ejemplo en la primera repetición de  $0.05807 \sim 0.06143 \text{ cm}^2$ ) seguida por las partículas de Ecco con cereales andinos (de  $0.03328 \sim 0.03587 \text{ cm}^2$  en la primera repetición) y la que logró un mínimo incremento son las partículas de Nesquik cereales andinos (de  $0.04035 \sim 0.04183 \text{ cm}^2$  en la primera repetición) durante los 20 minutos de estudio.

En la segunda condición crítica se observa una mayor variación de las áreas proyectadas. Las partículas de Nesquik cereales andinos logró mayor incremento ( $0.09598 \sim 0.22656 \text{ cm}^2$  en la segunda repetición), seguido por las partículas de Harina extruida de quinua (de  $0.04614 \sim 0.05367 \text{ cm}^2$ ) y luego por las partículas de Ecco con cereales andinos en las que se observa una disminución considerable de las áreas (por ejemplo de  $0.03864 \sim 0.03232 \text{ cm}^2$  en la segunda repetición) en el transcurso de las 20 horas de la experimentación.

En la tercera condición la variación de las áreas proyectadas fue más rápida a pesar que las imágenes fueron tomadas en intervalos de minutos en comparación a la segunda condición que fue de horas. En estas condiciones las partículas de Nesquik cereales andinos logró mayor incremento (por ejemplo de  $0.04332 \sim 0.10203 \text{ cm}^2$  en la primera repetición) porque se observó la unión de algunas partículas, luego siguiendo a esta las partículas de harina extruida de quinua que logro aumentar por ejemplo de  $0.04831 \sim 0.05542 \text{ cm}^2$  en la segunda repetición. Mientras que el comportamiento de las partículas de Ecco con cereales andinos se asemeja a las condiciones anteriores pero con

mayor intensidad, descendiendo en los primeros minutos luego incrementándose con una pendiente positiva con ligeras variaciones (por ejemplo en la segunda repetición disminuyo de  $0.03001 \sim 0.02655 \text{ cm}^2$  en los primeros 7 minutos luego incrementándose hasta  $0.03952 \text{ cm}^2$  en los 20 minutos de la experimentación).

En general; la deformación y el flujo de humedad a la matriz de las partículas amorfas y/o cristalinas debido a una disminución de la viscosidad condujeron a un progresivo aumento en el área proyectada de las partículas respecto al tiempo en todas las condiciones estudiadas. Ya que Hartmann y Palzer (2010) afirman que la viscosidad del material disminuye con el aumento del contenido de agua en las partículas, a este comportamiento le denomina higrosensibilidad que es significativamente diferente en una sustancia amorfa y cristalina. Las sustancias amorfas solubles en agua (como la harina extruida de los cereales) disminuyen su viscosidad al estar almacenadas en un ambiente con una alta humedad y temperatura, ya que estas absorben el agua, las que emigran al volumen libre que queda en la matriz molecular. El agua almacenada en la matriz amorfa tiene un efecto plastificante en la estructura amorfa pero no la disuelve como en el caso de las sustancias cristalinas (azúcar, sal y minerales) que no absorben agua hasta que se disuelven en una humedad relativa crítica específica de la sustancia; proporcionando una viscosidad baja o mediana a la solución resultante debido a su bajo peso molecular.

Cabe aclarar que la variación de la tendencia en las repeticiones de un mismo alimento instantáneo, confirma la higroscopicidad variada de las partículas que conforman una mezcla como producto final.

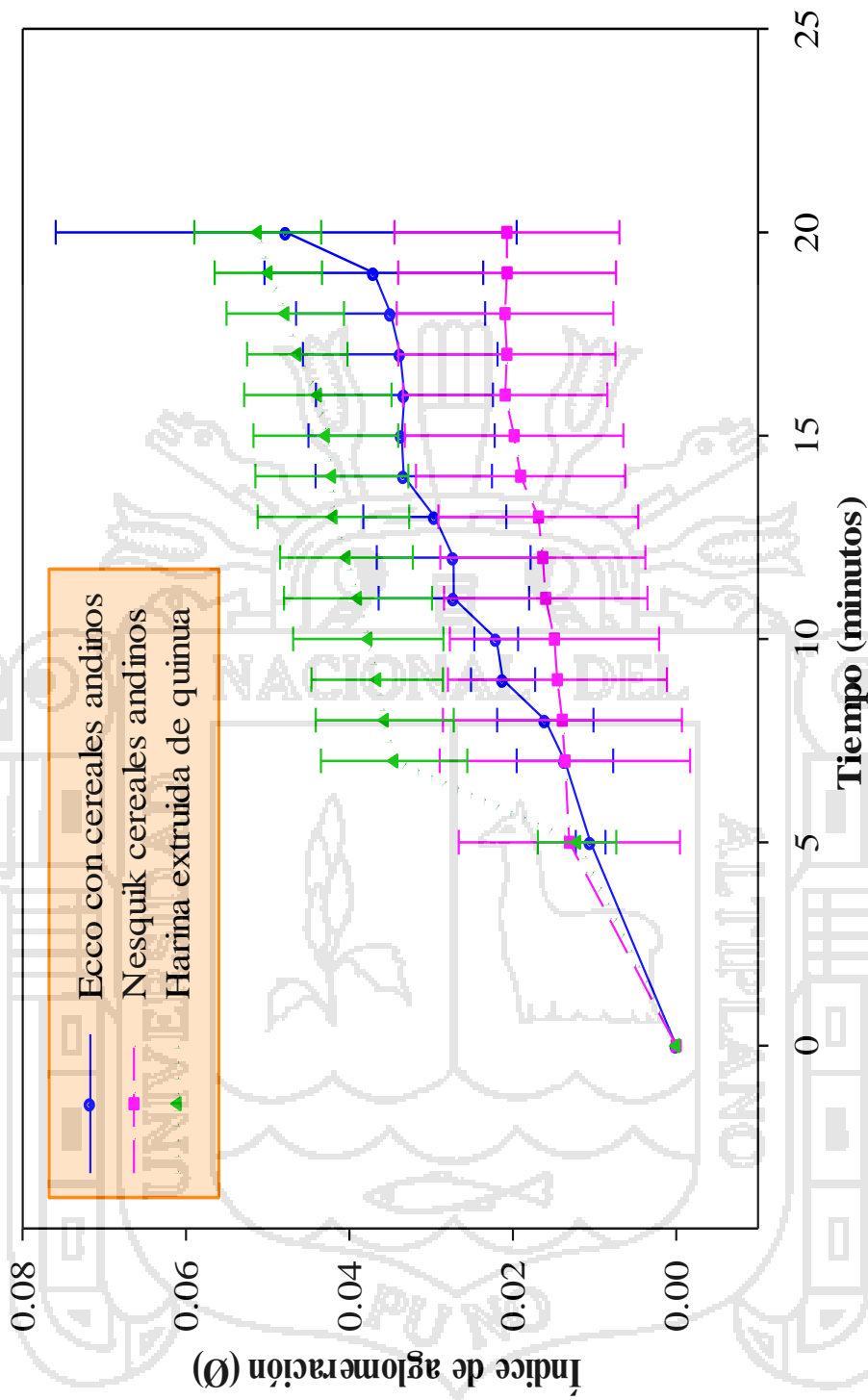
#### 4.3.2. CINÉTICA DE AGLOMERACIÓN

A continuación se muestra los resultados promedios obtenidos del índice de aglomeración en función al tiempo, evaluadas en los tres alimentos instantáneos, los datos completos se reportan en el Anexo V.

**Tabla 8.** Variación del índice de aglomeración en las partículas de los alimentos instantáneos, en condiciones críticas de 65 % HR y 30 °C.

TIEMPO (minutos)	ÍNDICE DE AGLOMERACIÓN ( $\emptyset$ )		
	Ecco con cereales andinos	Nesquik cereales andinos	Harina extruida de quinua
0	0.000 ± 0.0000	0.000 ± 0.0000	0.000 ± 0.0000
5	0.010 ± 0.0018	0.013 ± 0.0135	0.012 ± 0.0048
7	0.014 ± 0.0059	0.014 ± 0.0153	0.035 ± 0.0090
8	0.016 ± 0.0059	0.014 ± 0.0146	0.036 ± 0.0084
9	0.021 ± 0.0039	0.015 ± 0.0134	0.037 ± 0.0081
10	0.022 ± 0.0027	0.015 ± 0.0128	0.038 ± 0.0092
11	0.027 ± 0.0092	0.016 ± 0.0125	0.039 ± 0.0091
12	0.027 ± 0.0094	0.016 ± 0.0125	0.040 ± 0.0081
13	0.030 ± 0.0087	0.017 ± 0.0122	0.042 ± 0.0093
14	0.033 ± 0.0108	0.019 ± 0.0128	0.042 ± 0.0094
15	0.034 ± 0.0114	0.020 ± 0.0134	0.043 ± 0.0089
16	0.033 ± 0.0108	0.021 ± 0.0125	0.044 ± 0.0090
17	0.034 ± 0.0119	0.021 ± 0.0133	0.046 ± 0.0062
18	0.035 ± 0.0116	0.021 ± 0.0133	0.048 ± 0.0072
19	0.037 ± 0.0134	0.021 ± 0.0133	0.050 ± 0.0066
20	0.048 ± 0.0282	0.021 ± 0.0138	0.051 ± 0.0078

n = 3



**Fig. 15.** Índice de aglomeración en función del tiempo, de los alimentos instantáneos en condiciones críticas de 65 % HR y 30 °C.

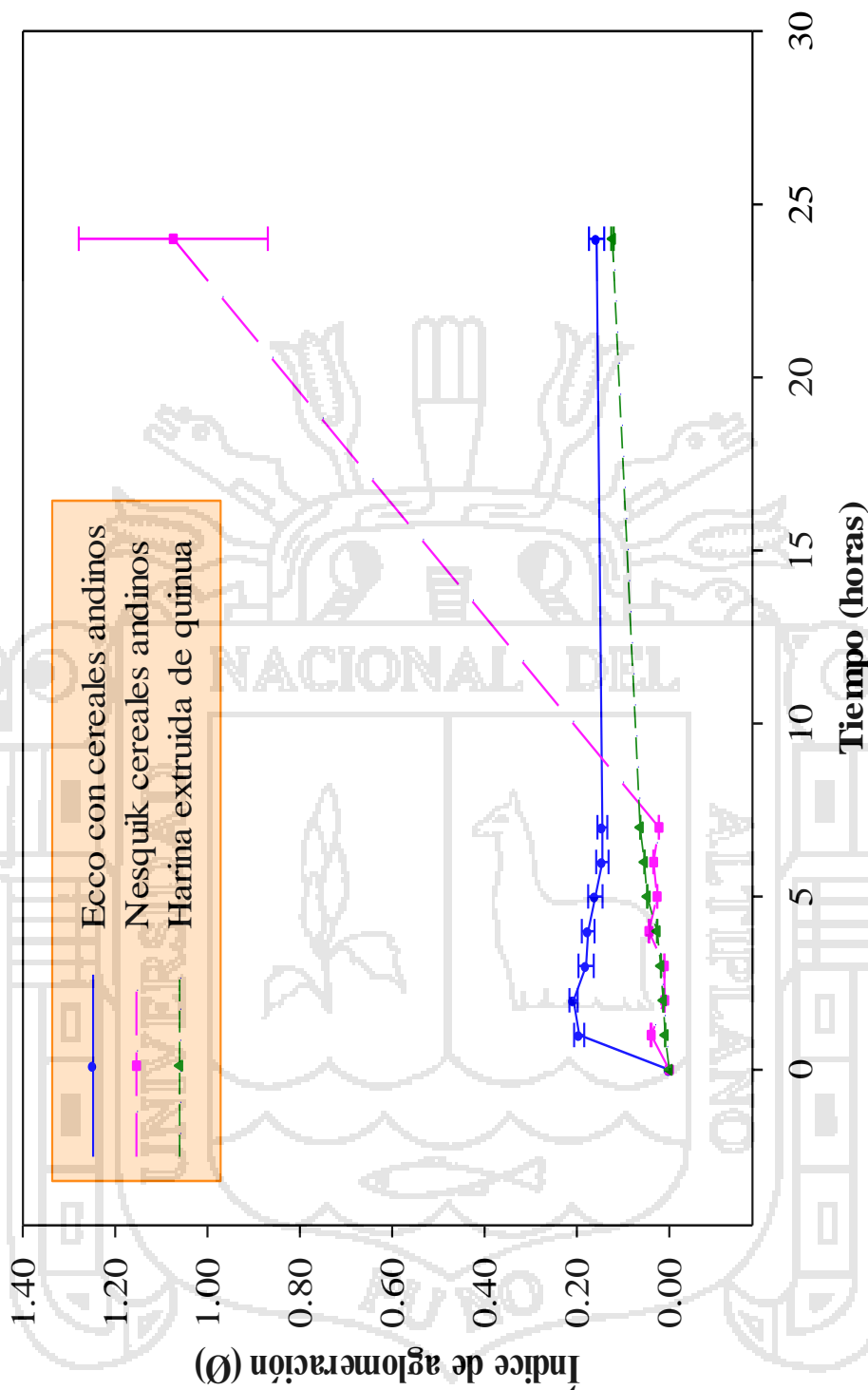


En la Tabla 8 y Figura 15 se observa, que durante los 5 primeros minutos de la evaluación los tres alimentos instantáneos presentan aproximadamente el mismo índice de aglomeración, luego de ese tiempo se registró una gran variación hasta los 20 minutos. Las partículas de harina extruida de quinua logró alcanzar mayor índice de aglomeración ( $\emptyset = 0.051$ ), seguido por las partículas de Ecco con cereales andinos ( $\emptyset = 0.048$ ) y finalmente las partículas de Nesquik cereales andinos logró alcanzar un menor índice de aglomeración ( $\emptyset = 0.021$ ) en estas condiciones críticas, esto se debió a las partículas cristalinas (azúcar instantánea y sal) que presenta en su composición ya que Hartmann y Palzer, (2010) afirman que la capacidad de absorción de agua de los materiales cristalinos es bastante baja en estas condiciones, pues estas no absorben agua hasta que se disuelven en humedades relativas específicas (73 - 75 % HR para el NaCl y 83 - 85 % HR para la sacarosa).

**Tabla 9.** Variación del índice de aglomeración en las partículas de los alimentos instantáneos, en condiciones críticas de 85 % HR y 25 °C.

TIEMPO (horas)	ÍNDICE DE AGLOMERACIÓN ( $\emptyset$ )		
	Ecco con cereales andinos	Nesquik cereales andinos	Harina extruida de quinua
0	0.000 ± 0.0000	0.000 ± 0.0000	0.000 ± 0.0000
1	0.195 ± 0.0108	0.039 ± 0.0087	0.009 ± 0.0000
2	0.207 ± 0.0088	0.010 ± 0.0128	0.013 ± 0.0000
3	0.180 ± 0.0165	0.011 ± 0.0182	0.018 ± 0.0002
4	0.176 ± 0.0139	0.044 ± 0.0262	0.026 ± 0.0004
5	0.160 ± 0.0157	0.026 ± 0.0477	0.048 ± 0.0001
6	0.145 ± 0.0134	0.034 ± 0.0537	0.054 ± 0.0001
7	0.145 ± 0.0107	0.022 ± 0.0629	0.063 ± 0.0000
20	0.157 ± 0.0166	1.074 ± 0.1229	0.123 ± 0.0028

n = 3



**Fig. 16.** Índice de aglomeración en función del tiempo, de los alimentos instantáneos en condiciones críticas de 85 % HR y 25 °C.

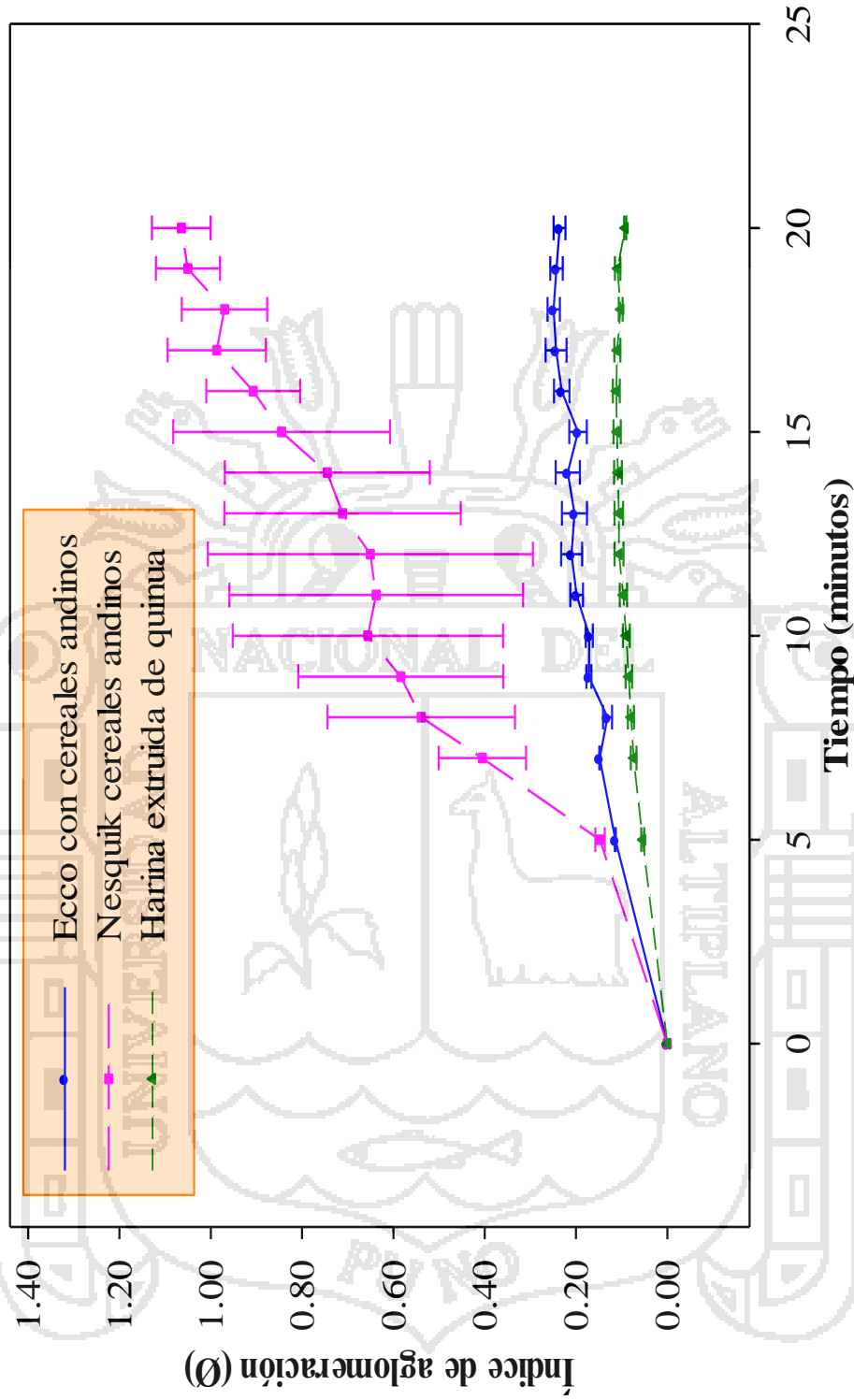
En la Tabla 9 y Figura 16 se observa que en las tres primeras horas las partículas de Nesquik cereales andinos y harina extruida de quinua presentan aproximadamente la misma tendencia con ligeras variaciones, mientras que las partículas de Ecco con cereales andinos alcanza su mayor índice de aglomeración ( $\emptyset = 0.207$ ) a los 2 horas, para luego descender hasta  $\emptyset = 0.157$  a los 20 horas. Los valores alcanzados por las partículas de Nesquik cereales andinos después de 20 horas fue considerable ( $\emptyset = 1.074$ ), seguido por las partículas de Ecco con cereales andinos ( $\emptyset = 0.157$ ) y la Harina extruida de quinua ( $\emptyset=0.123$ ). Como se observa el comportamiento del índice de aglomeración en los alimentos instantáneos difiere considerablemente en comparación a las condiciones anteriores. Al respecto Fitzpatrick et al. (2010) indica que es complicado predecir el comportamiento del flujo de muchos alimentos en polvo y mezclas de ingredientes alimenticios por el hecho de que contienen muchos componentes diferentes. Por ello es muy importante conocer la sensibilidad al agua y la higroscopicidad de los principales componentes del polvo.

Mientras que el contenido de humedad de las muestras de Nesquik cereales andinos, Ecco con cereales andinos y Harina extruida de quinua fueron 1.9 %, 3.1 % y 4.0 % (ver Anexo I). Esto implica lo siguiente: Mientras menor sea el contenido de humedad en las partículas, la absorción de agua se incrementará debido a la disminución de la viscosidad (el movimiento de las moléculas aumenta). Por ende la estabilidad de los alimentos instantáneos será menor (tendrá mayor  $\emptyset$ ) frente a las condiciones críticas de almacenamiento.

**Tabla 10.** Variación del índice de aglomeración en las partículas de los alimentos instantáneos, en condiciones críticas de 95 % HR y 20 °C.

TIEMPO (minutos)	ÍNDICE DE AGLOMERACIÓN (Ø)		
	Ecco con cereales andinos	Nesquik cereales andinos	Harina extruida de quinua
0	0.000 ± 0.0000	0.000 ± 0.0000	0.000 ± 0.0000
5	0.114 ± 0.0011	0.148 ± 0.0102	0.054 ± 0.0031
7	0.148 ± 0.0010	0.405 ± 0.0956	0.074 ± 0.0061
8	0.131 ± 0.0097	0.539 ± 0.2053	0.080 ± 0.0067
9	0.172 ± 0.0055	0.584 ± 0.2244	0.084 ± 0.0069
10	0.171 ± 0.0078	0.656 ± 0.2960	0.090 ± 0.0076
11	0.197 ± 0.0141	0.638 ± 0.3216	0.096 ± 0.0080
12	0.210 ± 0.0231	0.650 ± 0.3558	0.106 ± 0.0099
13	0.203 ± 0.0274	0.712 ± 0.2587	0.106 ± 0.0094
14	0.218 ± 0.0265	0.745 ± 0.2245	0.108 ± 0.0086
15	0.196 ± 0.0193	0.845 ± 0.2372	0.110 ± 0.0079
16	0.231 ± 0.0167	0.907 ± 0.1029	0.112 ± 0.0075
17	0.244 ± 0.0229	0.987 ± 0.1076	0.110 ± 0.0065
18	0.249 ± 0.0136	0.970 ± 0.0935	0.102 ± 0.0044
19	0.243 ± 0.0135	1.050 ± 0.0703	0.109 ± 0.0058
20	0.236 ± 0.0130	1.065 ± 0.0643	0.092 ± 0.0023

n = 3



**Fig. 17.** Índice de aglomeración en función del tiempo de los alimentos instantáneos a base de cereales andinos en condiciones críticas de 95 % HR y 20 °C.

En la Tabla 10 y Figura 17 se observa diferencias relevantes en el índice de aglomeración en los tres alimentos instantáneos; los valores alcanzados por las partículas de Nesquik cereales andinos indican que es el producto más higroscópico e higrosensible entre los tres productos estudiados ya que alcanzó un valor máximo de  $\emptyset = 1.065$  a los 20 minutos. En tanto los valores máximos alcanzados por las partículas de Ecco con cereales andinos y por las partículas de la Harina extruida de quinua fue de  $\emptyset = 0.236$  y  $\emptyset = 0.092$  respectivamente.

El producto Nesquik cereales andinos tuvo mayor índice de aglomeración por ser un producto rico en azúcar que en estas condiciones se disolvieron, generando así la disminución de la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) y con ello la estabilidad de las partículas. Al respecto Barbosa et al. (2005) afirma que los azúcares de bajo peso molecular tales como fructosa, glucosa y sacarosa tienen una temperatura de transición vítrea relativamente baja, por lo que su influencia en la depresión de la  $T_g$  es muy notable en alimentos ricos en azúcar. Por ello, estos productos durante el secado pueden permanecer como jarabe o adherirse a las paredes de la cámara secadora; ya que existe también problemas de aglomeración no deseada en la cámara de secado y en el sistema de transporte. Por ello el método más común para el secado de tales productos ha sido añadir aditivos de alto peso molecular (maltodextrinas) que elevan la  $T_g$  del producto y con ello su estabilidad.

La obtención del menor índice de aglomeración por parte de las partículas del Ecco con cereales instantáneos podría deberse principalmente a su alto contenido de carbohidratos (84.5g por 100g de porción) que presenta en comparación al Nesquik (81.1 g por 100g de porción). Pues según Barbosa et al. (2005) indica que la estabilidad contra la aglomeración de varios polvos preparados aumenta con el incremento de

cantidades crecientes de los carbohidratos de alto peso molecular, lo cual eleva la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) de la muestra.

Con respecto a las partículas de Harina extruida de quinua, estas tuvieron menor índice de aglomeración, a pesar que posee 66.7 g carbohidratos menor que los otros dos productos. Con ello podemos deducir que las sustancias cristalinas y la grasa influyen considerablemente en la higroscopicidad o que la mayor parte de los carbohidratos presentes en su composición sean insolubles (mayor peso molecular) en comparación a los otros dos alimentos instantáneos.

Como se observa, en menor o mayor grado estos alimentos instantáneos son propensos a sufrir una aglomeración por su gran higroscopicidad, por ende se recomienda almacenar en condiciones adecuadas y asegurarnos que el envase tenga una alta barrera frente a las condiciones ambientales. Así preservar la calidad del producto y con ello incrementar su vida en anaquel.

En la Tabla 11, se muestra los resultados obtenidos de la prueba estadística ANVA (análisis de varianza de k-direcciones) que se realizó para evaluar el efecto de las variables independientes (condiciones críticas, alimentos instantáneos y tiempo) sobre la variable dependiente (índice de aglomeración). El cual nos indica que existe diferencia estadística significativa ( $P \leq 0.05$ ) para el efecto principal (índice de aglomeración) de los siguientes factores: Entre condiciones críticas en sus diferentes niveles de estudio (min = 65 % HR y 30 °C y máx.= 95 % HR y 20 °C), entre los tipo de alimentos instantáneos (Ecco con cereales andinos, Nesquik cereales andinos y Harina extruida de quinua), entre los tiempos y para la interacción de primer orden y segundo orden.

**Tabla 11.** Análisis de Varianza para el índice de aglomeración.

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Pr > F	Significancia
Condiciones críticas (A)	1	1.48674	1.48674	53.13	< 0.0001	**
Alimentos instantáneos (B)	2	1.14670	0.57335	20.49	< 0.0001	**
Tiempo ( C )	3	0.37108	0.12369	4.42	0.0080	**
A x B	2	1.28674	0.64337	22.99	< 0.0001	**
A x C	3	0.27270	0.09090	3.25	0.0298	*
B x C	6	0.35678	0.05946	2.12	0.0675	n.s.
A x B x C	6	0.41029	0.06838	2.44	0.0384	*
Error experimental	48	1.34321	0.02798			
<b>Total corregido</b>	<b>71</b>	<b>6.67424</b>				

Por consiguiente para las interacciones se puede afirmar que existe dependencia entre los factores condiciones críticas, tipo de alimento instantáneo y tiempo con un 95% de nivel de confianza. En consecuencia a medida que las condiciones ambientales sean más críticas y a medida que transcurra el tiempo, el índice de aglomeración se incrementará en cualquier alimento instantáneo. Al respecto Barbosa et al. (2005) señala que la aglomeración es un fenómeno dependiente del tiempo y otros factores internos como el comportamiento higroscópico y estado físico de las partículas; factores externos como la temperatura y la humedad relativa.

Para los efectos principales significativos se realizó la prueba de comparación múltiple Duncan con un nivel de significación de  $\alpha=0.05$ , para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras (ver Tabla 12, 13 y 14).



**Tabla 12.** Prueba de comparación múltiple Duncan para el índice de aglomeración por condiciones críticas.

Condiciones críticas	n	Media	Duncan (P < 0.05)
Máxima*	36	0.315 ± 0.216	a
Mínima*	36	0.027 ± 0.012	b

\*(min. = 65 % HR y 30 °C y máx. = 95 % HR y 20 °C)

En la Tabla 12 los resultados nos indica que existe diferencia significativa entre las condiciones, esto implica que estas influyen en el índice de aglomeración de las partículas de alimentos instantáneos, obteniéndose mayor índice de aglomeración en las condiciones máximas y un menor índice de aglomeración en las condiciones mínimas. Fitzpatrick et al. (2010) señala que la aglomeración de las partículas de polvo dependen en gran medida de la humedad relativa del aire circundante y la temperatura.

**Tabla 13.** Prueba de comparación múltiple Duncan para el índice de aglomeración por alimentos instantáneos.

Alimentos instantáneos	n	Media	Duncan (P < 0.05)
Nesquik cereales andinos	24	0.348 ± 0.133	a
Ecco con cereales andinos	24	0.104 ± 0.005	b
Harina extruida de quinua	24	0.061 ± 0.018	b

En la Tabla 13 se distingue dos grupos homogéneos (Ecco cereales andinos y la Harina extruida de quinua) en las que no existe diferencia estadísticamente significativa, mientras que en el contraste entre los alimentos instantáneos Nesquik cereales andinos versus Ecco con cereales andinos y harina extruida de quinua existe diferencia significativa. Es decir el índice de aglomeración en las partículas de Nesquik cereales

andinos es mayor, seguida por el Ecco con cereales andinos y la Harina extruida de quinua la que presenta menor índice de aglomeración.

**Tabla 14.** Prueba de comparación múltiple Duncan para el índice de aglomeración por tiempo.

Tiempo (minutos)	n	Media	Duncan (P < 0.05)
20	18	0.252 ± 0.241	a
15	18	0.208 ± 0.022	a
10	18	0.165 ± 0.020	ab
5	18	0.058 ± 0.040	b

En la Tabla 14, se observa una diferencia significativa en el incremento del índice de aglomeración en los alimentos instantáneos entre los tiempos 5 y 15 minutos; 5 y 20 minutos. Mientras que en los tiempos 15 y 20 minutos; 5 y 10 minutos; 10 y 15 minutos; 10 y 20 minutos, no existe diferencia estadísticamente significativa. Esto significa que las partículas al estar expuestas mayor tiempo a las condiciones críticas mayor será su índice de aglomeración.

## V. CONCLUSIONES

1. El sistema diseñado para el control de la temperatura en la cámara de acrílico (7 x 7 x 3 cm) funcionó satisfactoriamente, en el cual el termostato (0 ~ 90 °C) con bulbo sensor RTD (Resistance Temperature Detector) instalado en un armazón de aluminio, llevo el control de la temperatura en la resistencia eléctrica (40 watts) ensamblada junto al sensor en una cama de plancha de asbesto en la parte superior del armazón. La precisión en temperaturas mínimas fue menor en comparación a las temperaturas máximas.
2. Las partículas de Ecco con cereales andinos presentó una aglomeración mecánica por su estructura fibrosa, forma extremadamente irregular y a una posible presencia del almidón dextrinizado; los cuales originaron la contracción e hinchamiento de las partículas que finalmente adquirieron una forma definida. Las partículas de Nesquik cereales andinos presentó una aglomeración de flujo plástico porque se observó la adhesión, coalescencia por puentes de sinterización y la desintegración de las partículas; debido a la grasa, partículas cristalinas y al almidón gelatinizado originadas por las condiciones optimas de extrusión. Las partículas de Harina extruida de quinua presentó una aglomeración química porque no se observó la desintegración ni la variación de su forma, debido a su matriz insoluble generada por polímeros que no se alteraron durante la extrusión; Además por no ser una mezcla instantánea la presencia de estos polímeros fue mayor en este producto.
3. En el índice de aglomeración ( $\emptyset$ ) en función del tiempo se encontró que el Nesquik cereales andinos resultó ser el producto más higroscópico (mayor  $\emptyset$ ), seguido por el Ecco con cereales andinos y la Harina extruida de quinua. Por ello es necesario llevar un control estricto de las condiciones de procesamiento y almacenamiento de este tipo de productos. Y asegurarnos envasar en materiales que presentan una alta barrera frente a las condiciones ambientales.

## VI. RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios con este mismo sistema, pero miniaturizando condiciones específicas de procesamiento, comercialización o almacenamiento de productos atomizados, liofilizados o extruidos que son altamente higroscópicos. Con la finalidad de identificar el comportamiento de estos frente a las condiciones de temperatura y humedad que son factores imprescindibles para mantener la calidad del producto final.
2. Realizar estudios del fenómeno de aglomeración teniendo en cuenta otros factores como el tamaño, peso, el estado físico de las partículas y la presencia de barreras contra la humedad.
3. Para la producción de alimentos instantáneos, se recomienda utilizar materias primas (granos o semillas) que posean gran cantidad de polímeros insolubles en su estructura, los cuales al no ser alterados por procesos como la extrusión, darán mayor vida en anaquel al producto final. Además se recomienda que estos productos se envasen lo más naturalmente posible sin realizar mezclas con ningún otro aditivo, ya que estos provocan la aglomeración de las partículas.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, J. M., Del Valle, J. M. & Karel, M. (1995). Caking phenomena in amorphous food powders. Food Science & Technology, Volume 6 (5) Elsevier. Departamento de Ingeniería Química y Bioprocesos, Pontificia Universidad Católica de Chile, P.O. Box 306, Santiago, Chile. <<http://www.deepdyve.com>> [Consulta: 16 abr. 2013].
- Aguilera, J. M., & Fillford, P. J. (1996). Microstructural and image analyses as related to food engineering (3<sup>a</sup> ed.). Food engineering, 23 – 38. Editorial In E. Ortega & G. Barbosa – Canovas. London - New York. <[www.slideshare.net](http://www.slideshare.net)> [Consulta: 10 agost. 2013].
- Barbosa, G. V., Enrique, C., Rivas, P. J., & Yan, H. (2005). Food powders: Physical properties, processing and functionality. New York, MA: Kluwer Academic. <<http://books.google.com.pe>> [Consulta: 16 abr. 2013].
- Bueno, A. (2007). El diseño factorial  $2^k$  y su optimización. Recopilación. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco – Perú.
- Cartagena, Raúl. (2005). Efecto de temperatura y humedad en algunas propiedades funcionales en extruidos de cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen). Tesis para obtener el grado de Ingeniero Agroindustrial, Escuela Profesional de ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional del Altiplano, Puno - Perú.
- Ceballos, A. M. (2008). Estudio comparativo de tres sistemas de secado para la producción de un polvo deshidratado de frutas. Tesis de grado Magister en Ingeniería química, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Sao Pablo.

<<http://www.bdigital.unal.edu.co>> [Consulta: 10 dic. 2012].

Cuevas, E., Zaldivar, D & Pérez M. (2010). Procesamiento digital de imágenes con MATLAB y Simulink (1ª ed.). México: Editorial Alfaomega.

Comasa (2012). Equipos: Industria Alimenticia, Plantas industriales, Productos instantáneos. <[www.comasa-sa.com](http://www.comasa-sa.com)> [Consulta: 10 dic. 2012].

Chen, Y.L. & Chou, J.Y. (1993). Selection of anticaking agents through crystallization. Science Direct - Powder Technol. 77: 1–6. Departamento de Ingeniería Química y Bioprocesos, Pontificia Universidad Católica de Chile. <[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)> [Consulta: 17 nov. 2013].

Chuy, L. E. & Labuza, T. P. (2006). Caking and stickiness of dairy-based food powders as related to glass transition. Journal of Food Science. 59 (1): 43–46. Instituto de Tecnología de los Alimentos. <<http://onlinelibrary.wiley.com>> [Consulta: 12 nov. 2012].

Christakis, N., Wang, J., Patel, M. K., Bradley, M. S. A., Leaper, M. C., & Cross, M. (2006). Aggregation and caking processes of granular materials: continuum model and numerical simulation with application to sugar. Advanced Powder Technol., Vol. 17, No. 5, pp. 543–565. VSP and Society of Powder Technology, Japón. <<http://www.tem.uoc.gr>> [Consulta: 16 abr. 2013].

Dávila, J., Ruelas, J., Polit, P., & Acuña, O. (1992). Memorias del Seminario taller sobre Extracción de Alimentos. Escuela Politécnica Nacional. Instituto de Investigación Tecnológicas Área de Alimentos. Quito - Ecuador. 23-47 p. <[www.iniap.gob.ec](http://www.iniap.gob.ec)> [Consulta: 13dic. 2013].

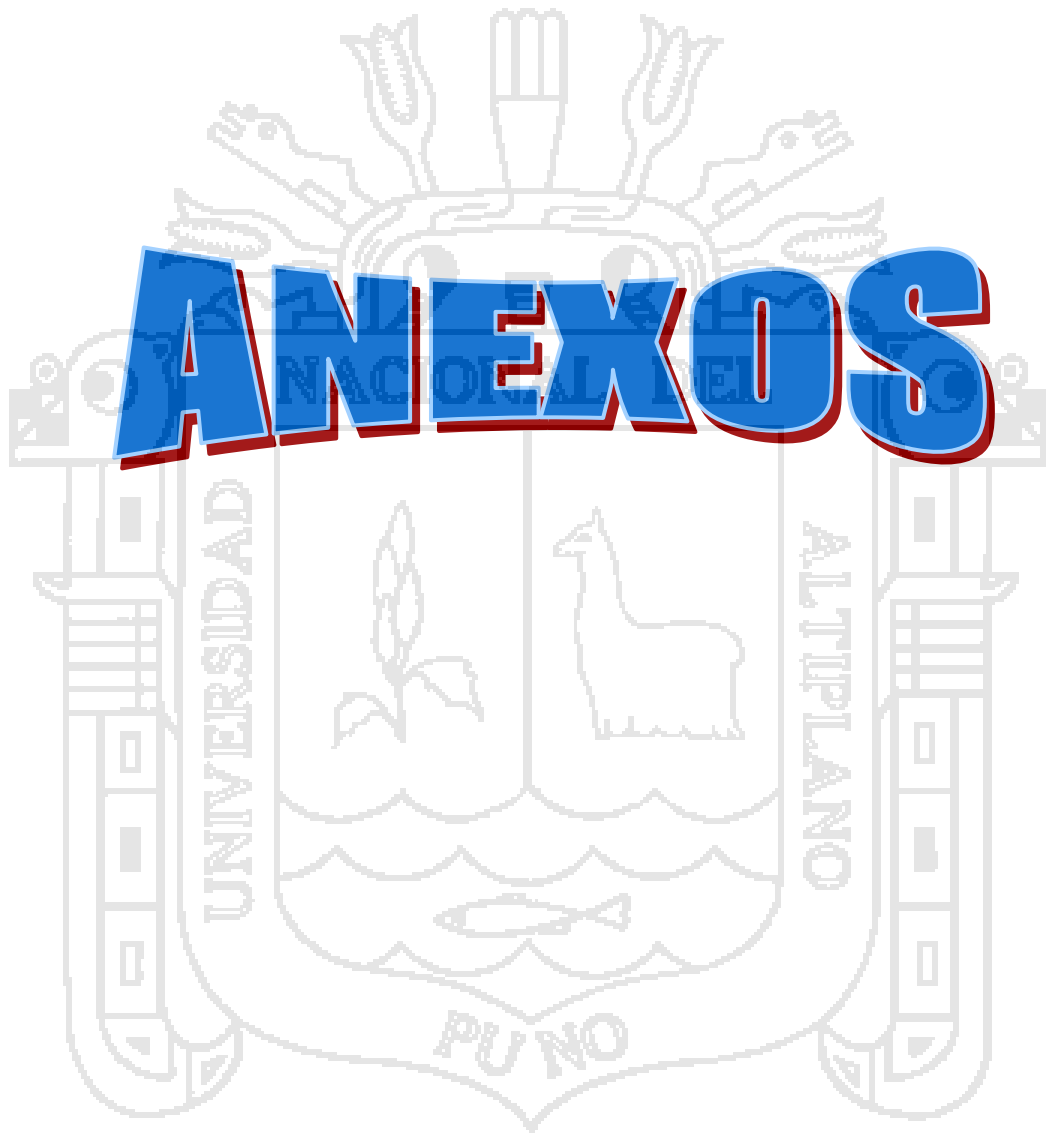
- Downton, G. E., Flores – Luna, J. L., & King, J. C. (1982). Mechanism of stickiness in hygroscopic, amorphous powders. *Industrial and Engineering chemistry Fundamentals* 21, 447–451. < [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com) > [Consulta: 26 nov. 2012].
- Fellows, P. (2001). *Tecnología de procesado de alimentos; principios y tácticas*. España: Editorial Acribia - Zaragoza.
- Fitzpatrick, J. J., Descamps, N., O'Meara, K., Jones, C., Walsh, D., & Spitere M. (2010). Comparing the caking behaviours of skim milk powder, amorphous maltodextrin and crystalline common salt. *Science Direct-Powder Technology* 204, 131–137. Departamento de Ingeniería Química y Bioprocesos, University College, Cork, Ireland. < [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com) > [Consulta: 30 agost. 2013].
- Guy, R. (2001). *Extrusión de alimentos, tecnología y aplicación*. España: Editorial Acribia-Zaragoza.
- Hartmann, M & Palzer, S. (2011). Caking of amorphous powders — Material aspects, modelling and applications. *Science Direct-Food Powder Technology* 206, 112–121. Nestlé Product Technology Centre -Nestlé Research Center, Germany and Switzerland. < [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com) > [Consulta: 25 agost. 2013].
- Ibáñez, V. (2009). *Análisis y diseño de experimentos*. Facultad de ciencias agrarias, Facultad de Ingeniería Estadística e Informática. Universidad Nacional del Altiplano. Puno –Perú.
- Laboratorio Biolatina S.A.C. (2014). *Especificaciones técnicas – Harina de quinua gelatinizada*. Perú.

- Lin, S., Huff, H., & Hsieh, F. (2002). Extrusion Process Parameters, sensory Characteristics, and Structural Properties of a High Moisture Soy Protein Meat Analogy. *Journal of Food Science*, 3, Vol. 67. MO, USA. <<http://ezproxy.concytec.gob.pe>> [Consulta: 6 may. 2014].
- Mathlouthi, M., & Roge B. (2003). Water vapour sorption isotherms and the caking of food powders. *Elsevier- Food Chemistry* 82 (61–71). Laboratoire de Chimie Physique Industrielle, Université de Reims Champagne - Ardenne, BP.P.1039-51687 Reims Cedex 2, Francia. <<http://www.associationavh.com>> [Consulta: 16 abr. 2013].
- Mosquera L. H. (2010). Influencia de la humedad y de la adición de solutos (maltodextrina o goma arábiga) en las propiedades fisicoquímicas de borjón y fresa en polvo. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia – Departamento de Tecnología de Alimentos. <<http://www.riunet.upv.es>> [Consulta: 10 dic. 2012].
- Nestlé Perú S.A., Good food, Good life. (2012). Información nutricional. <<http://www.nestle.com.pe>> [Consulta: 5 abr. 2013].
- Nova Visión. (2014). Uso, manejo y asistencia de equipos NOVA – Capacitación clientes. Industria Peruana. Lima - Perú.
- Ocmin, Y. (2013). Control de temperatura. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Ingeniería de Control. Lima – Perú. <<http://proyectosfie.com>> [Consulta: 15 nov. 2013].
- Ortega, E. (2006). Manejo y Procesamiento de Polvos y Granulados Alimenticios, Posgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Autónoma de Chihuahua. <<http://www.engormix.com>> [Consulta: 10 dic. 2012].



- Ossa, M. A. (2011). Hornos eléctricos. Universidad Tecnológica De Pereira.  
<<http://es.scribd.com>> [Consulta: 5 abr. 2013].
- Peleg, M. (2005). Physical properties of food powders. Food Engineering – Vol. I.  
Departamento de ciencia alimentaria, Universidad de Massachusetts, USA.  
<<http://www.eolss.net>> [Consulta: 23 dic. 2013].
- Repo-Carrasco, R. & Li Hoyos, N. (1993). Elaboración y evaluación de alimentos  
infantiles con base en cultivos andinos. Archivos Latinoamericanos de  
Nutrición. Vol: 43(2): 168-175.
- Resolución ministerial Nro. 451-2006/MINSA. Norma Sanitaria para la Fabricación de  
Alimentos a base de granos y otros, destinados a Programas Sociales de  
Alimentación. Lima- Perú. <<http://www.digesa.sld.pe>> [Consulta: 9 jun. 2014].
- Ríos, D. (2004). Aglomeración de finos por medio de un sistema combinado aspersion -  
fluidización. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias, Posgrado en  
Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Autónoma Metropolitana,  
Iztapalapa. <<http://148.206.53.231/UAMI12217.pdf>> [Consulta: 10 dic. 2012].
- Roos, Y. H. & Karel, M. (2005). Phase transitions of mixtures of amorphous  
polysaccharides and sugars. Biotechnology Progress.7: 49–53. Instituto  
Americano de Ingenieros Químicos. San Diego.  
<<http://onlinelibrary.wiley.com>> [Consulta: 12 abr. 2013].
- Salas, W. A. (2010). Aplicación del sistema HACCP en el proceso de elaboración de  
alimentos de reconstitución instantánea a base de cereales extruidos. Tesis  
digitales UNMSM. <<http://sisbib.unmsm.edu.pe>> [Consulta: 16 jun. 2014].

- Saragoni, P., Aguilera J. M. & Bouchon P. (2007). Changes in particles of coffee powder and extensions to caking. *Science Direct-Food Chemistry* 104, 122–126. Departamento de Ingeniería Química y Bioprocesos, Pontificia Universidad Católica de Chile, P.O. Box 306, Santiago, Chile. <[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)> [Consulta: 6 nov. 2012].
- Sierra, J. D. (2003). Cohesión. *Ingeniería Ambiental*. <<http://fluidos.eia.edu.co>> [Consulta: 30 dic. 2012].
- Tacora, R. L. (2010). Efecto de la presión de expansión por explosión y temperatura de tostado en algunas características funcionales y fisicoquímicas de dos variedades de cañihua (*Chenopodium pallidicaule Aellen*). Tesis para obtener el grado de Ingeniero Agroindustrial, Escuela Profesional de ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional del Altiplano, Puno - Perú.
- Torres, J. O. & Pérez, W. (2006). Tecnología de extrusión en alimentos. *Ciencia y Tecnología de alimentos* Vol. 16, No. 3. Instituto de Investigación para la Industria Alimenticia. La Habana, Cuba. <<http://ezproxy.concytec.gob.pe>> [Consulta: 6 may. 2014].
- Velázquez, A & Rey, N. (1999). *Metodología de la investigación científica*. Editorial San Marcos.
- Zea, C. (2011). Determinación biológica de la calidad proteica en harina de quinua extruida de la variedad negra collana. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Agroindustrial, Escuela Profesional de ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional del Altiplano, Puno - Perú.



## ANEXO I

## Resultados del análisis de humedad en las muestras

1. Antes de realizar la experimentación:

REPETICION	NESQUIK CEREALES ANDINOS	ECCO CON CEREALES ANDINOS	HARINA EXTRUIDA DE QUINUA
1	2.395 %	6.238 %	6.597 %
2	2.799 %	6.147 %	7.981 %
3	2.643 %	6.144 %	8.143 %
<b>PROMEDIO</b>	2.612 %	6.176 %	7.574 %

2. Después de haberla sometido en el desecador con sílica gel:

REPETICION	NESQUIK CEREALES ANDINOS	ECCO CON CEREALES ANDINOS	HARINA EXTRUIDA DE QUINUA
1	1.926 %	3.245 %	4.102 %
2	1.856 %	2.987 %	3.895 %
3	1.957 %	3.145 %	4.012 %
<b>PROMEDIO</b>	1.913 %	3.126 %	4.003 %

**ANEXO II**

Detalles tomados en cuenta para llevar el control de la temperatura y la humedad relativa en la cámara de acrílico

<b>CONDICIONES</b>	<b>CONDICION CRITICA RESULTANTE</b>	<b>Temperatura ambiente</b>
Programación realizada en el sistema de control de temperatura = 30 °C	65±1 % HR	19 °C
Programación realizada en el baño maría digital = 30 °C	y 30±1 °C	
Dos bombas de aire con potencia de 3W		
Agua destilada 250 ml en el matraz Kitasato		
Programación realizada en el sistema de control de temperatura = 25 °C	85±2 % HR	18 ~ 20 °C
Programación realizada en el baño maría digital = 30 °C	y 25±2 °C	
Dos bombas de aire con potencia de 3W		
Agua destilada 250 ml en el matraz Kitasato		
Programación realizada en el sistema de control de temperatura = 20 °C	95 ±2% HR	18 ~ 18.5 °C
Programación realizada en el baño maría digital = 30 °C	y 20±1 °C	
Dos bombas de aire con potencia de 3W		
Agua desionizada 250 ml en el matraz Kitasato		

**ANEXO III**

Resultados de las lecturas realizadas en el termohigrómetro con sensor externo de temperatura y humedad relativa, con sus respectivos niveles de precisión

Ti	LECTURAS REALIZADAS CON SUS NIVELES DE PRECISIÓN										PLi	PROMEDIO DE NPi										
	L1	NP1	L2	NP2	L3	NP3	L4	NP4	L5	NP5			L6	NP6	L7	NP7	L8	NP8	L9	NP9	L10	NP10
15	14.5	96.7	14.3	95.3	15.0	100.0	14.8	98.7	14.0	93.3	13.6	90.7	14.9	99.3	15.5	103.3	16.0	106.7	15.7	104.7	14.8	98.9±0.8
20	18.5	92.5	18.9	94.5	19.0	95.0	20.0	100.0	19.9	99.5	20.1	100.5	20.6	103.0	20.0	100.0	21.3	106.5	21.0	105.0	19.9	99.7±0.9
25	23.6	94.4	23.0	92.0	23.9	95.6	24.0	96.0	25.0	100.0	26.3	105.2	26.0	104.0	25.8	103.2	25.5	102.0	25.0	100.0	24.8	99.2±1.1
30	29.1	97.0	29.3	97.7	29.5	98.3	29.8	99.3	30.0	100.0	30.3	101.0	31.4	104.7	29.5	98.3	28.5	95.0	29.7	99.0	29.7	99.0±0.8
35	34.5	98.6	34.8	99.4	35.0	100.0	35.1	100.3	34.8	99.4	34.1	97.4	35.2	100.6	35.5	101.4	36.0	102.9	35.8	102.3	35.1	100.2±0.6
40	38.9	97.3	39.8	99.5	40.0	100.0	39.8	99.5	40.7	101.8	41.5	103.8	38.6	96.5	38.8	97.0	38.6	96.5	39.2	98.0	39.6	99.0±1.0
45	43.9	97.6	44.2	98.2	44.5	98.9	45.5	101.1	45.7	101.6	46.0	102.2	44.8	99.6	43.0	95.6	44.8	99.6	45.3	100.7	44.8	99.5±0.9
50	49.6	99.2	50.6	101.2	50.7	101.4	50.4	100.8	50.6	101.2	50.8	101.6	50.3	100.6	50.8	101.6	50.3	100.6	50.0	100.0	50.4	100.8±0.4
											<b>PROMEDIO TOTAL DE NPi</b>										99.5 %	

Donde:

Li = Lectura de la temperatura en el termohigrómetro (°C).

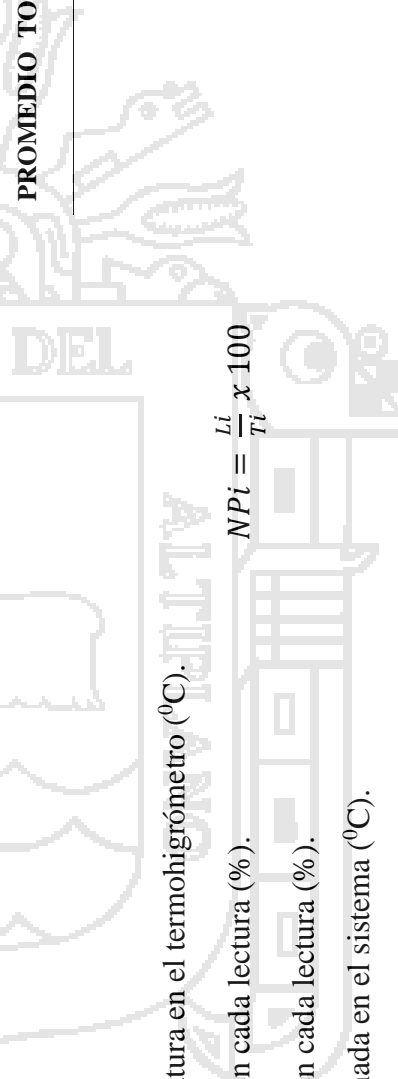
NPi = Nivel de precisión en cada lectura (%).

NPi = Nivel de precisión en cada lectura (%).

Ti = Temperatura programada en el sistema (°C).

PLi = Promedio de las lecturas realizadas.

$$Npi = \frac{Li}{Ti} \times 100$$



Resultados de la precisión de la temperatura en cada lectura realizada en el termohigrómetro con sensor externo de temperatura y humedad relativa, con respecto a la temperatura programada

PRECISION POR LECTURA										Promedio de la precisión en cada lectura
PL1	PL2	PL3	PL4	PL5	PL6	PL7	PL8	PL9	PL10	
0.50	0.70	0.00	0.20	1.00	1.40	0.10	-0.50	-1.00	-0.70	1.40
1.50	1.10	1.00	0.00	0.10	-0.10	-0.60	0.00	-1.30	-1.00	1.50
1.40	2.00	1.10	1.00	0.00	-1.30	-1.00	-0.80	-0.50	0.00	2.00
0.90	0.70	0.50	0.20	0.00	-0.30	-1.40	0.50	1.50	0.30	1.50
0.50	0.20	0.00	-0.10	0.20	0.90	-0.20	-0.50	-1.00	-0.80	- 1.00
1.10	0.20	0.00	0.20	-0.70	-1.50	1.40	1.20	1.40	0.80	- 1.50
1.10	0.80	0.50	-0.50	-0.70	-1.00	0.20	2.00	0.20	-0.30	2.00
0.40	-0.60	-0.70	-0.40	-0.60	-0.80	-0.30	-0.80	-0.30	0.00	- 0.80
<b>PRECISIÓN DEL SISTEMA</b>										<b>± 2.00</b>



## ANEXO IV

Resultados de la variación de las áreas proyectadas de las partículas en cm<sup>2</sup> de los alimentos instantáneos a base de cereales andinos

## 1. PARA LA CONDICIÓN CRÍTICA: 65 % HR y 30 °C

Tiempo (min)	ECCO CON CEREALES ANDINOS			NESQUIK CEREALES ANDINOS			HARINA EXTRUIDA DE QUINUA		
	1REP	2REP	3REP	1REP	2REP	3REP	1REP	2REP	3REP
0	0.03328	0.03587	0.03201	0.04035	0.03585	0.02666	0.05807	0.04405	0.06004
5	0.03369	0.03554	0.03232	0.04151	0.03608	0.02677	0.05845	0.04468	0.06096
7	0.03391	0.03613	0.03247	0.04161	0.03608	0.02675	0.06049	0.04570	0.06150
8	0.03396	0.03621	0.03259	0.04160	0.03607	0.02679	0.06055	0.04572	0.06162
9	0.03409	0.03647	0.03273	0.04156	0.03612	0.02682	0.06058	0.04576	0.06170
10	0.03402	0.03656	0.03280	0.04155	0.03610	0.02688	0.06069	0.04584	0.06168
11	0.03451	0.03655	0.03282	0.04157	0.03611	0.02694	0.06075	0.04589	0.06177
12	0.03452	0.03655	0.03282	0.04159	0.03611	0.02695	0.06077	0.04596	0.06191
13	0.03455	0.03661	0.03296	0.04159	0.03611	0.02700	0.06092	0.04605	0.06193
14	0.03464	0.03662	0.03323	0.04169	0.03613	0.02709	0.06091	0.04608	0.06193
15	0.03468	0.03661	0.03323	0.04175	0.03615	0.02710	0.06096	0.04607	0.06201
16	0.03463	0.03662	0.03324	0.04174	0.03619	0.02716	0.06100	0.04614	0.06205
17	0.03461	0.03659	0.03333	0.04179	0.03620	0.02711	0.06106	0.04616	0.06241
18	0.03467	0.03664	0.03334	0.04180	0.03621	0.02712	0.06119	0.04625	0.06243
19	0.03483	0.03665	0.03337	0.04181	0.03626	0.02706	0.06129	0.04632	0.06260
20	0.03587	0.03666	0.03339	0.04183	0.03626	0.02704	0.06143	0.04639	0.06260



## 2. PARA LA CONDICIÓN CRÍTICA: 85 % HR y 25 °C

Tiempo (horas)	ECCO CON CEREALES			NESQUIK CEREALES			HARINA EXTRUIDA		
	ANDINOS			ANDINOS			DE QUINUA		
	1REP	2REP	3REP	1REP	2REP	3REP	1REP	2REP	3REP
0	0.04345	0.03864	0.03071	0.06337	0.09598	0.06667	0.05114	0.04614	0.05061
1	0.03439	0.02737	0.02810	0.06421	0.09886	0.06168	0.05158	0.04661	0.05025
2	0.03566	0.02659	0.02669	0.06495	0.09586	0.06688	0.05193	0.04693	0.05031
3	0.03516	0.02693	0.02927	0.06448	0.09604	0.06758	0.05262	0.04726	0.05055
4	0.03509	0.02765	0.02916	0.06239	0.10185	0.07034	0.05335	0.04764	0.05075
5	0.03654	0.02760	0.02963	0.06388	0.09967	0.06879	0.05428	0.04793	0.05277
6	0.03746	0.02843	0.02969	0.06307	0.10042	0.07007	0.05440	0.04840	0.05304
7	0.03731	0.02896	0.03204	0.06519	0.09921	0.06699	0.05451	0.04870	0.05402
8				0.06424	0.10429	0.06699			
9				0.06294	0.10425	0.07085			
10				0.06220	0.10311	0.07061			
11				0.06308	0.10683	0.07354			
12				0.06282	0.10258	0.07428			
13				0.06395	0.10188	0.07501			
14				0.06377	0.10016	0.07346			
15				0.06329	0.10031	0.07189			
16				0.06354	0.09946	0.07028			
24	0.03115	0.03232	0.03149	0.14636	0.22656	0.10352	0.05842	0.05367	0.05381

## 3. PARA LA CONDICIÓN CRÍTICA: 95 % HR y 20 °C

Tiempo (min)	ECCO CON CEREALES ANDINOS			NESQUIK CEREALES ANDINOS			HARINA EXTRUIDA DE QUINUA		
	1REP	2REP	3REP	1REP	2REP	3REP	1REP	2REP	3REP
0	0.03001	0.03146	0.03699	0.04332	0.03833	0.05147	0.06172	0.04831	0.04796
5	0.02549	0.02813	0.03383	0.05426	0.04365	0.04884	0.06408	0.05389	0.04831
7	0.02655	0.02582	0.03145	0.07300	0.05586	0.04771	0.06456	0.05614	0.04858
8	0.03053	0.02553	0.03006	0.08410	0.06238	0.04899	0.06475	0.05663	0.04880
9	0.03334	0.02674	0.02756	0.08613	0.06518	0.04825	0.06498	0.05694	0.04899
10	0.03518	0.02888	0.02742	0.09364	0.06617	0.04735	0.06533	0.05740	0.04906
11	0.03740	0.02946	0.02640	0.09303	0.06665	0.05009	0.06554	0.05788	0.04934
12	0.03867	0.03037	0.02567	0.09482	0.06721	0.05100	0.06595	0.05886	0.04941
13	0.03896	0.03183	0.02590	0.09308	0.07025	0.05935	0.06602	0.05874	0.04953
14	0.03960	0.03241	0.02572	0.09556	0.06781	0.06480	0.06604	0.05863	0.04989
15	0.03745	0.03266	0.02586	0.10091	0.07092	0.06976	0.06583	0.05856	0.05040
16	0.03912	0.03403	0.02557	0.09796	0.06988	0.08423	0.06598	0.05852	0.05057
17	0.04093	0.03377	0.02614	0.10172	0.07303	0.08789	0.06582	0.05811	0.05080
18	0.04047	0.03526	0.02672	0.10034	0.07113	0.08943	0.06583	0.05691	0.05089
19	0.04025	0.03505	0.02690	0.10205	0.07337	0.09680	0.06577	0.05782	0.05101
20	0.03952	0.03478	0.02643	0.10203	0.07472	0.09723	0.06582	0.05542	0.05097
21	0.04009	0.03472	0.02681	0.04332	0.03833	0.05147	0.06580	0.05551	0.05122
22	0.04080	0.03521	0.02733	0.05426	0.04365	0.04884	0.06587	0.05595	0.05137
23	0.04057	0.03567	0.02761				0.06639	0.05599	0.05171
24	0.04106	0.03531	0.02835						
25	0.04144	0.03560	0.02796						
26	0.04173	0.03612	0.02797						

## ANEXO V

Resultados de la variación del índice de aglomeración por repetición determinada en los alimentos instantáneos a base de cereales andinos

## 1. PARA LA CONDICIÓN CRÍTICA: 65 % HR y 30 °C

Tiempo (min)	ECCO CON CEREALES ANDINOS			NESQUIK CEREALES ANDINOS			HARINA EXTRUIDA DE QUINUA		
	1REP	2REP	3REP	1REP	2REP	3REP	1REP	2REP	3REP
0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
5	0.01253	0.00906	0.00983	0.02866	0.00645	0.00411	0.00663	0.01433	0.01544
7	0.01904	0.00733	0.01453	0.03123	0.00644	0.00319	0.04166	0.03745	0.02447
8	0.02055	0.00936	0.01816	0.03080	0.00626	0.00476	0.04274	0.03798	0.02632
9	0.02432	0.01679	0.02248	0.02999	0.00774	0.00590	0.04328	0.03888	0.02765
10	0.02224	0.01926	0.02460	0.02969	0.00714	0.00791	0.04512	0.04055	0.02741
11	0.03720	0.01905	0.02542	0.03023	0.00724	0.01044	0.04626	0.04178	0.02881
12	0.03746	0.01890	0.02536	0.03068	0.00745	0.01084	0.04660	0.04333	0.03117
13	0.03817	0.02070	0.02979	0.03064	0.00730	0.01267	0.04911	0.04527	0.03150
14	0.04091	0.02099	0.03816	0.03306	0.00799	0.01609	0.04899	0.04597	0.03149
15	0.04209	0.02066	0.03808	0.03465	0.00863	0.01626	0.04986	0.04589	0.03293
16	0.04062	0.02083	0.03833	0.03445	0.00973	0.01862	0.05058	0.04737	0.03361
17	0.04000	0.02005	0.04130	0.03551	0.00982	0.01680	0.05160	0.04793	0.03959
18	0.04180	0.02159	0.04147	0.03577	0.01019	0.01692	0.05384	0.04983	0.03988
19	0.04669	0.02173	0.04258	0.03598	0.01146	0.01467	0.05548	0.05160	0.04268
20	0.07798	0.02213	0.04313	0.03654	0.01149	0.01411	0.05792	0.05303	0.04272

2. PARA LA CONDICIÓN CRÍTICA: 85 % HR y 25 °C

Tiempo (min)	ECCO CON CEREALES ANDINOS			NESQUIK CEREALES ANDINOS			HARINA EXTRUIDA DE QUINUA		
	1REP	2REP	3REP	1REP	2REP	3REP	1REP	2REP	3REP
0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
1	0.20834	0.29155	-0.08519	0.01321	0.03003	0.07483	0.00871	0.01020	0.00705
2	0.17927	0.31182	-0.13084	0.02499	0.00120	0.00312	0.01556	0.01709	0.00585
3	0.19070	0.30311	-0.04685	0.01760	0.00061	0.01362	0.02904	0.02429	0.00116
4	0.19235	0.28428	-0.05063	0.01541	0.06124	0.05511	0.04329	0.03261	0.00276
5	0.15889	0.28565	-0.03531	0.00811	0.03846	0.03175	0.06143	0.03893	0.04271
6	0.13773	0.26413	-0.03316	0.00476	0.04628	0.05101	0.06390	0.04912	0.04810
7	0.14122	0.25039	0.04328	0.02876	0.03365	0.00482	0.06588	0.05545	0.06731
20	0.28310	0.16356	0.02543	1.30960	1.36058	0.55264	0.14239	0.16316	0.06319

3. PARA LA CONDICIÓN CRÍTICA: 95 % HR y 20 °C.

Tiempo (min)	ECCO CON CEREALES ANDINOS			NESQUIK CEREALES ANDINOS			HARINA EXTRUIDA DE QUINUA		
	1REP	2REP	3REP	1REP	2REP	3REP	1REP	2REP	3REP
0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
5	0.15072	0.10583	0.08540	0.25250	0.13882	0.05114	0.03827	0.11560	0.00747
7	0.11549	0.17914	0.14975	0.68495	0.45734	0.07307	0.04597	0.16209	0.01297
8	0.01743	0.18828	0.18721	0.94137	0.62734	0.04820	0.04910	0.17220	0.01755
9	0.11098	0.15009	0.25481	0.98823	0.70032	0.06252	0.05277	0.17857	0.02156
10	0.17224	0.08189	0.25859	1.16148	0.72616	0.08012	0.05845	0.18826	0.02304
11	0.24613	0.06348	0.28618	1.14753	0.73864	0.02688	0.06184	0.19801	0.02893
12	0.28838	0.03449	0.30595	1.18863	0.75341	0.00908	0.06852	0.21843	0.03028
13	0.29807	0.01200	0.29981	1.14856	0.83268	0.15314	0.06966	0.21597	0.03275
14	0.31953	0.03025	0.30475	1.20578	0.76909	0.25904	0.07006	0.21373	0.04040
15	0.24792	0.03839	0.30091	1.32922	0.85016	0.35528	0.06658	0.21211	0.05099
16	0.30341	0.08193	0.30867	1.26130	0.82288	0.63654	0.06898	0.21135	0.05444
17	0.36392	0.07357	0.29336	1.34810	0.90517	0.70762	0.06646	0.20282	0.05927
18	0.34854	0.12092	0.27755	1.31627	0.85564	0.73754	0.06665	0.17813	0.06118
19	0.34111	0.11436	0.27274	1.35555	0.91395	0.88070	0.06558	0.19685	0.06363
20	0.31675	0.10560	0.28550	1.35521	0.94926	0.88898	0.06643	0.14711	0.06296

ANEXO VI

Especificaciones técnicas de la harina extruida de quinua



**ESPECIFICACIONES TECNICAS**

**Producto : HARINA DE QUINUA GELATINIZADA**

Registro Sanitario : **E4601212N / TKPADE - DIGESA**

**DESCRIPCION**

Producto de textura fina de uso instantáneo que es el resultado de los procesos de desaponificado, extruido y molienda a las que es sometido de los granos de quinua (*Chenopodium quinoa Wild.*) que provienen de los campos de cultivo del altiplano puneño.

La importancia nutritiva de la harina de quinua gelatinizada radica en la calidad de la proteína por presentar un perfil aminoacídico equilibrado. Además de ser una harina que no contiene gluten lo que lo hace un ingrediente ideal para la dieta de las personas con enfermedad celíaca.



**INGREDIENTES**

100% quinua.

**CARACTERISTICAS ORGANOLEPTICAS**

Aspecto	Polvo de textura fina y homogénea, sin grumos
Sabor	Característico
Color	Crema
Olor	Característico

**ENVASE Y PRESENTACION**

Bolsas de polietileno blanco opaco de alta densidad de 10, 20, 25 y 40 Kg; con sobreempaque de saco de polipropileno. Otras a solicitud del cliente.

**VALOR NUTRICIONAL EN 100 gr.**

COMPONENTE	VALORES
Proteínas (g)	14.51
Grasas (g)	4.11
Fibra cruda (g)	2.45
Cenizas (g)	2.52

**USOS**

En la repostería, preparación de jugos y ensaladas de frutas, pastelería, preparación de mezclas para regímenes especiales, preparación de mezclas infantiles, preparación de alimentos de reconstitución instantáneas, etc.

**CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS**

COMPONENTE	VALORES
Humedad	≤ 5%
Acidez (exp. Ac. Sulfúrico)	≤ 0.4%
Índice de Gelatinización	> 94%
Índice de Peróxido	< 10 mEq/Kg grasa
Aflatoxinas	No detectable a 5 ppb
Saponina	Ausente

**ALMACENAJE Y VIDA UTIL**

Almacenar lugar limpio, fresco y seco bajo techo protegido de la luz y humedad. 12 meses en condiciones adecuadas de almacenamiento.

**PARTIDA ARANCELARIA**  
1102909000

**ENTIDAD CERTIFICADORA**  
Biolatina S.A.C.



Av. Circunvalación Mz. D Lte 15-A – Zona Industrial Taparachi  
Juliaca – Puno – Peru  
Telef: 051-600166 / 051-600167



## ANEXO VII

Sistema armado para la adquisición de las imágenes

