

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



**“ESTUDIO DE LA CINÉTICA DE REHIDRATACIÓN EN  
DOS VARIEDADES DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*  
Willd.) COCIDA DESHIDRATADA”**

**TESIS**

**PRESENTADO POR:**

**EDWIN EFREN CHOQUE CHALCO**

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

**PUNO – PERÚ**

**2014**

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

“ESTUDIO DE LA CINÉTICA DE REHIDRATACIÓN EN DOS VARIEDADES  
DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.) COCIDA DESHIDRATADA”

**TESIS**

PRESENTADO POR:

**EDWIN EFREN CHOQUE CHALCO**

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

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

**PRESIDENTE**

:

.....  
Ing. Dr. Wenceslao Teddy MEDINA ESPINOZA

**PRIMER MIEMBRO**

:

.....  
Ing. M.Sc. Roger SEGURA PEÑA

**SEGUNDO MIEMBRO**

:

.....  
Ing. Marienela CALSIN CUTIMBO

**DIRECTOR DE TESIS**

:

.....  
Ing. M.Sc. Florentino V. CHOQUEHUANCA CACERES

**ASESOR DE TESIS**

:

.....  
Ing. M.Sc. Pablo PARI HUARCAYA

PUNO - PERÚ

2014

Área: Ingeniería y tecnología

Tema: Desarrollo de procesos y productos agroindustriales sostenibles y eficientes

## DEDICATORIA

Al Todo Poderoso,  
que rompe las cadenas  
de la esclavitud.



Con gratitud a mis Padres. Marcelino Choque  
y Lucía Chalco a quienes tengo profunda  
admiración.

## AGRADECIMIENTOS

A los docentes de mi alma mater la Universidad Nacional del Altiplano Puno, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial por haber contribuido en mi formación como profesional.

A mis Padres por su apoyo paciencia y motivación.

A mi director de tesis Ing. M.Sc. F. Víctor Choquehuanca Cáceres, por su confianza en mi persona y por su apoyo en este trabajo, al Ing. M.Sc. Pablo Pari Huarcaya por su asesoramiento en la parte estadística.

A los miembros del Jurado Ing. Dr. Wenceslao Teddy Medina Espinoza, por su apoyo moral y oportuna sugerencia, al Ing. M.Sc. Roger Segura Peña y a la Ing. Marienela Calsin Cutimbo, por las correcciones de este trabajo de investigación.

A mis amigos: Liz, Edwin, Patricia, Edhy, Brenda, Alex, Violeta y demás amigos quienes me apoyaron y dieron su aliento durante el desarrollo del trabajo de investigación.

Gracias por todo

## ÍNDICE GENERAL

Pág.

### ÍNDICE GENERAL

### ÍNDICE DE TABLAS

### ÍNDICE DE FIGURAS

### ÍNDICE DE ANEXOS

### ÍNDICE DE SIGLAS

RESUMEN.....	2
I. INTRODUCCIÓN.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 La quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.).....	5
2.1.1 Generalidades.....	5
2.1.2 Descripción.....	5
2.1.3 Composición química de la quinua.....	6
2.1.4 Calidad de la proteína.....	7
2.1.5 Volúmenes de producción de quinua.....	9
2.1.6 Transformación primaria e industrial de la quinua.....	9
2.2 Cocción.....	10
2.2.1 Marmitas de cocción abiertas.....	10
2.2.2 Cocción húmeda de quinua.....	11
2.3 Dureza.....	11
2.4 Congelado.....	12
2.4.1 Congelado de alimentos.....	12
2.4.2 Formación de la microestructura durante la solidificación.....	12
2.4.3 Congelado del agua en los alimentos.....	13
2.5 Secado.....	14
2.5.1 Aspectos generales sobre secado.....	14
2.6 Actividad de agua y estabilidad de alimentos deshidratados.....	15
2.6.1 Actividad de agua y presión de vapor relativa.....	15
2.6.2 Factores que afectan la estabilidad.....	16
2.6.3 El agua en los alimentos.....	18
2.7 Rehidratación de alimentos.....	18
2.7.1 Antecedentes generales de la rehidratación de alimentos.....	18

2.7.2	Capacidad de Rehidratación ó Relación de Rehidratación.....	20
2.7.3.1	Factores extrínsecos del proceso de rehidratación.....	23
2.7.3.2	Factores intrínsecos del proceso de rehidratación .....	25
2.7.4	Modelado matemático de la cinética de rehidratación.....	27
2.7.5	Cambios en las propiedades fisicoquímicas y nutricionales de los alimentos durante la rehidratación.....	28
2.7.6	Cambios microestructurales durante la rehidratación .....	29
III.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	31
3.1	Lugar de ejecución.....	31
3.3	Equipos y Materiales.....	31
3.3.	Equipos .....	31
3.3.2	Materiales y reactivos.....	32
3.3.3	Software.....	33
3.4	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL .....	33
3.4.1	Descripción de las etapas para la obtención de la quinua cocida rehidratable.....	33
3.4.2	Metodología experimental de la rehidratación.....	34
3.4.2.1	Rehidratación .....	34
3.5	MÉTODOLÓGÍA DE ANÁLISIS .....	35
3.5.1	Cálculo de la dureza de la quinua .....	35
3.5.2	Cálculo de la cinética de rehidratación .....	36
3.5.3	Cálculo de la capacidad de rehidratación.....	36
3.5.4	Actividad de agua.....	36
3.5.5	Humedad .....	36
3.6	UNIDADES DE ANÁLISIS Y OBSERVACIONES.....	37
3.6.1	DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE COCCIÓN DE LA QUINUA PARA LA REHISRATACIÓN .....	37
3.6.1.1	Variables de estudio.....	37
3.6.1.2	Variables de Respuesta .....	37
3.6.2	DETERMINACIÓN DE LA CINÉTICA DE REHIDRATACIÓN DE LA QUINUA COCIDA.....	37
3.6.2.1	Variables de estudio.....	37
3.6.2.2	Variables de Respuesta .....	38

3.7	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	38
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	41
4.1	Tiempo de cocción en dos variedades de quinua para el rehidratado adecuado.....	41
4.1.1	Cocción.....	41
4.1.1.1	Dureza de la quinua cocida.....	41
4.1.1.2	Análisis de varianza .....	45
4.1.1.3	Prueba de significancia de Tukey para el tiempo de cocción .....	48
4.1.2	Congelado .....	49
4.1.3	Secado.....	50
4.2	Cinética de rehidratación de quinua deshidratada .....	51
4.2.1	Cinética de Rehidratación (Tiempo vs Peso).....	51
4.2.2	Cinética de Rehidratación de quinua variedad Blanca de Juli .....	55
4.2.2.1	Ajuste al modelo de Peleg.....	56
4.2.2.2	Ajuste al modelo de Langmuir.....	60
4.2.3	Cinética de Rehidratación de quinua variedad Salcedo INIA .....	64
4.2.3.1	Ajuste al modelo de Peleg.....	65
4.2.3.2	Ajuste al modelo de Langmuir.....	69
4.3	Capacidad de Rehidratación (RC) .....	73
V.	CONCLUSIONES .....	79
VI.	RECOMENDACIONES.....	80
VII.	BIBLIOGRAFÍA.....	81
	ANEXOS .....	92

## ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Composición <i>físico-química</i> de la materia prima quinua en porcentaje.....	6
Tabla 2	Composición química del grano de quinua crudo desaponificado y de la quinua sometida a cocción húmeda.....	7
Tabla 3	Aminoácidos esenciales de la quinua y del patrón FAO/OMS/ONU para niños en edad preescolar de 2 a 5 años (g/100 g proteína).....	8
Tabla 4	Formato de recolección de datos.....	40
Tabla 5	Promedio de dureza (N) de dos variedades de quinua tras la cocción a 60, 90 y 120 minutos.....	41
Tabla 6	Análisis de varianza para Dureza en la cocción de la quinua, utilizando SC ajustada para pruebas.....	46
Tabla 7	ANOVA unidireccional: 60MIN, 90MIN, 120MIN .....	48
Tabla 8	Prueba de comparación de Tukey para el tiempo.....	49
Tabla 9	Humedad y actividad de agua en dos variedades de quinua cocidas deshidratadas.....	50
Tabla 10	Capacidad de rehidratación para dos variedades de quinua.....	75
Tabla 11	Datos promedio de la capacidad de rehidratación.....	75



## ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1	Cambios que ocurren en los alimentos en función de la actividad de agua	17
Figura 2	Flujo de operaciones para la elaboración de quinua rehidratable.....	34
Figura 3	Diagrama de flujo para la Rehidratación de quinua.....	35
Figura 4	Dureza (N) de quinua cocida variedad Blanca de Juli a tres tiempos de cocción (60, 90 y 120°C).....	42
Figura 5	Dureza (N) de quinua variedad Salcedo INIA a diferentes tiempos de cocción (60, 90 y 120°C).....	43
Figura 6	Comparación de dureza en dos variedades de quinua cocinadas a 60, 90 y 120 minutos.....	44
Figura 7	Interacción de los factores tiempo y variedad para la dureza.....	47
Figura 8	Efectos principales del diseño factorial 3x2.....	48
Figura 9	Curvas de rehidratación en dos variedades de quinua (Blanca de Juli y Salcedo INIA) sometidas a cocción por 60 minutos.....	52
Figura 10	Curvas de rehidratación en dos variedades de quinua (Blanca de Juli y Salcedo INIA) sometidas a cocción por 90 minutos.....	53
Figura 11	Curvas de rehidratación en dos variedades de quinua (Blanca de Juli y Salcedo INIA) sometidas a cocción por 120 minutos.....	54
Figura 12	Curvas de rehidratación de la quinua variedad Blanca de Juli sometidas a diferentes tiempos de cocción (60, 90 y 120 minutos).....	55
Figura 13	Modelado de la curva de rehidratación de la quinua variedad Blanca de Juli con el modelo de Peleg para un tiempo de cocción de 60 minutos....	57
Figura 14	Modelado de la curva de rehidratación de la quinua variedad Blanca de Juli con el modelo de Peleg para un tiempo de cocción de 90 minutos....	58
Figura 15	Modelado de la curva de rehidratación de la quinua variedad Blanca de Juli con el modelo de Peleg para un tiempo de cocción de 120 minutos..	59

Figura 16	Modelado de la curva de rehidratación de la quinua variedad Blanca de Juli con el modelo de Langmuir para un tiempo de cocción de 60 minutos.....	61
Figura 17	Modelado de la curva de rehidratación de la quinua variedad Blanca de Juli con el modelo de Langmuir para un tiempo de cocción de 90 minutos.....	62
Figura 18	Modelado de la curva de rehidratación de la quinua variedad Blanca de Juli con el modelo de Langmuir para un tiempo de cocción de 120 minutos.....	63
Figura 19	Modelado de la curva de rehidratación de la quinua variedad Blanca de Juli con los modelos de Peleg y Langmuir a diferentes tiempos de cocción (60, 90 y 120 minutos).....	64
Figura 20	Curvas de rehidratación de la quinua variedad Salcedo INIA sometidas a diferentes tiempos de cocción (60, 90 y 120 minutos).....	65
Figura 21	Modelado de la curva de rehidratación de la quinua variedad Salcedo INIA con el modelo de Peleg para un tiempo de cocción de 60 minutos	66
Figura 22	Modelado de la curva de rehidratación de la quinua variedad Salcedo INIA con el modelo de Peleg para un tiempo de cocción de 90 minutos	67
Figura 23	Modelado de la curva de rehidratación de la quinua variedad Salcedo INIA con el modelo de Peleg para un tiempo de cocción de 120 minutos.....	68
Figura 24	Modelado de la curva de rehidratación de la quinua variedad Salcedo INIA con el modelo de Langmuir para un tiempo de cocción de 60 minutos.....	70
Figura 25	Modelado de la curva de rehidratación de la quinua variedad Salcedo INIA con el modelo de Langmuir para un tiempo de cocción de 90 minutos.....	71
Figura 26	Modelado de la curva de rehidratación de la quinua variedad Salcedo INIA con los modelos de Peleg y Langmuir a diferentes tiempos de	73

	cocción (60, 90 y 120 minutos) .....	73
Figura 27	Influencia del tiempo de cocción en la capacidad de rehidratación en quinua deshidratada variedad Blanca de Juli.....	76
Figura 28	Influencia del tiempo de cocción en la capacidad de rehidratación en quinua deshidratada variedad Salcedo INIA.....	77
Figura 29	Comparación capacidad de rehidratación en dos variedades de quinua cocinadas a 60, 90 y 120 minutos.....	78



## ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo I Dureza (N) de dos variedades de quinua cocida a tres diferentes tiempos.....	93
Anexo II Promedios de ganancia de peso de dos variedades de quinua durante la rehidratación (tiempo de cocción 60, 90 y 120 minutos).....	94
Anexo III Datos experimentales del aumento de peso tras la rehidratación de quinua cocida, deshidratada variedad blanca de Juli. (Tiempo de cocción 60 minutos).....	95
Anexo IV Repeticiones del comportamiento de la ganancia de peso de la quinua deshidratada al transcurrir el tiempo.....	101
Anexo V Repeticiones de las Capacidades de Rehidratación para dos variedades de quinua.....	105



## ÍNDICE DE SIGLAS

ANOVA	: Analysis Of Variance / Análisis de Varianza
RC	: Capacidad de Rehidratación
CM	: Cuadrados Medios
SSE	: Suma de cuadrados debido al error
RMSE	: Error estándar de la estimación
R-Cuadrado	: Coeficiente de determinación



## RESUMEN

El trabajo de investigación se realizó con 2 variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Blanca de Juli y Salcedo INIA, perladas, las muestras de quinua fueron lavadas, sometidas a cocción a una temperatura de 89 °C y a tres niveles de tiempo de cocción, 60, 90 y 120 minutos enfriadas y oreadas a temperatura ambiente por 10 minutos, congelándose por 72 horas. Fueron secados 200 g de cada variedad de quinua a la temperatura 70 °C en un secador con aire forzado; el secado se finalizó en 8 horas. Una vez deshidratadas las muestras de quinua se determinaron la humedad, que resultaron 5.912% y 2.553% para las variedades de blanca de Juli y salcedo INIA respectivamente. Las muestras de quinua deshidratadas fueron envasadas en bolsas de polipropileno con el fin de conservar las muestras. Para la cinética de rehidratación se tomó 1g de cada muestra (quinua cocida deshidratada), las muestras fueron rehidratadas sumergiéndolas en agua destilada en una proporción de 1:50 (peso muestra: peso agua) a temperatura ambiente (17.2 °C), se determinó el peso cada 20 segundos hasta llegar a peso constante. El termino del proceso fue aproximadamente de 300 segundos (5 minutos); el exceso de agua fue retirada colocando las muestras en un colador durante 10 minutos y secados con papel tisú. Se observó que la rehidratación se ve afectada por el tiempo de cocción debido a los cambios estructurales, que finalmente afectan la capacidad de rehidratación los cuales fueron  $6.9161 \pm 0.0001$  y  $4.2491 \pm 0.0021$  para las variedades de Blanca de Juli Salcedo INIA, respectivamente. La cinética de rehidratación se realizó ajustando a los modelos propuestos por Peleg y Langmuir.

## I. INTRODUCCIÓN

El Perú es el segundo país productor mundial de quinua con 40,000 hectáreas superado solo por Bolivia con 50,000 hectáreas por año (El peruano, 2013) siendo Puno en el Perú uno de los principales productores de este grano andino. La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) como producto de gran valor nutricional en cuanto a la calidad proteica además de lisina, han despertado el interés de la mayoría de países en el mundo. El producto natural no procesado es utilizado en sopas, jugos, guisos etc.

La cocción es considerada como la operación capaz de modificar las características estructurales en los alimentos a si como la dureza, estas modificaciones estructurales pueden influir en la cinética de rehidratación de los alimentos. El trabajo de investigación se efectuó con la finalidad de determinar la influencia del tiempo de cocción en la capacidad de rehidratación de dos variedades de quinua cocidas deshidratadas. Uno de los cambios físicos que se presentan durante la deshidratación de alimentos es la reducción del volumen así como la pérdida de agua, lo que provoca que la estructura celular sufra tensiones, dando como resultado la disminución de las dimensiones y un cambio en la forma del alimento. Todo pretratamiento antes del secado tiene cierta influencia sobre el producto deshidratado en el proceso posterior de rehidratación; las características de calidad de un alimento deshidratado que ha sido rehidratado puede mejorarse aplicando ciertos pretratamientos como por ejemplo el escaldado, provoca cambios en las propiedades físicas del tejido (destrucción de membranas celulares) y pérdida de sólidos solubles que afectan la velocidad del secado; Al rehidratar se pretende obtener productos que al reconstituirse adquieran lo más posible sus características iniciales y que lo hagan en el menor tiempo; sin embargo este proceso se ve influido por las condiciones del secado, la preparación de la muestra, la composición de la muestra, el grado de ruptura estructural y

química. La rehidratación de materiales deshidratados está compuesta de tres procesos simultáneos: absorción del agua respecto al material deshidratado, el hinchamiento y la lixiviación de los sólidos solubles. En cuanto a la transferencia de materia ocurrida durante la rehidratación, se puede mencionar que el agua es absorbida rápidamente al inicio del proceso y luego disminuye gradualmente la absorción hasta que el contenido de humedad alcanza un equilibrio, es decir, que todos los espacio inter o intracelulares queden saturados con agua. Se planteó para el estudio de investigación ajustar las curvas de rehidratación experimental a las ecuaciones propuestas por Peleg y Lagmuir.

Para tal fin se plantearon los siguientes objetivos:

- Determinar el tiempo de cocción en dos variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) para el rehidratado adecuado.
- Establecer la cinética de rehidratación en dos variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) cocida.



## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.)

#### 2.1.1 Generalidades

La quinua se utiliza en la alimentación humana, en el desayuno de los niños como producto balanceado con otros granos, en sopas, lawas, guisos, pesque, quispiña, api, chicha blanca, galletas, panes, tortillas y postres, por enumerar algunas de los preparados tradicionales en los países andinos. En la medicina, se le atribuyen propiedades cicatrizantes, desinflamantes, analgésicas y desinfectantes. Por la importancia nutricional atribuida a la quinua es demandada últimamente por Alemania, Dinamarca, Francia, Japón, Gran Bretaña y USA. Como potencial económico de la quinua se utiliza todo hasta el polvillo desaponificado en la alimentación animal y las hojas frescas en la alimentación humana, que comparativamente es superior a las hojas de la espinaca en contenido de proteínas (Mujica y Jacobsen, 2006). Es un grano alimenticio que se cultiva ampliamente en la región andina, desde Colombia hasta el norte de Argentina para las condiciones de montaña de altura, aunque un ecotipo que se cultiva en Chile, se produce a nivel del mar. Domesticada por las culturas prehispánicas, se utiliza en la alimentación desde por lo menos unos 3000 años (Tapia, citado por Chacchi, 2009).

#### 2.1.2 Descripción

La quinua es una planta herbácea de ciclo anual y perteneciente a la familia de los Chenopodiaceas. Su tamaño varía desde 1m a 3,5 m. según las diferentes variedades y ecotipos (Chacchi, 2009). El género *Chenopodium* se caracteriza por tolerar y resistir el ataque de insectos y enfermedades, de heladas y sequías; además poseen características

favorables en cuanto al valor nutritivo y duración del ciclo de producción (Rojas *et al.*, 2008; Del Castillo *et al.*, 2007; citado por FAO, 2011).

### 2.1.3 Composición química de la quinua

Tabla 1. Composición *físico-química* de la materia prima quinua en porcentaje.

Variedad de quinua	Humedad	Ceniza	Proteína	Grasa	Fibra	ELN	Energía (Kcal)
Salcedo INIA	4.04	2.77	16.32	4.61	3.45	72.85	394.95
Blanca de Juli	12.72	2.45	12.89	4.52	3.09	77.13	428.35
Pasankalla Ploma	11.76	3	13.78	4.99	3.58	74.65	395.68

Fuente: Mamani, 2006.

Tabla 2. Composición química del grano de quinua crudo desaponificado y de la quinua sometida a cocción húmeda.

Variedad Salcedo INIA

Componente	Quinua cruda desaponificada		Cocción húmeda	
	% (bh)	% (bs)	% (bh)	% (bs)
Humedad	11.24		68.67	
Grasa	8.11	9.13	2.48	7.93
Proteína	14.27	16.34	3.09	12.64
Ceniza	2.42	2.73	0.77	2.37
Fibra Cruda	3.41	3.83	1.03	3.32
ELN	60.6	68.28	23.95	73.74

Fuente: Adaptado de, De La Riva, 2010.

#### 2.1.4 Calidad de la proteína

La calidad de la proteína de quinua es superior al de los cereales, dado el mayor contenido de lisina (alrededor de 5.6 g/100 g. de proteína). La concentración de lisina en la quinua es el doble que en los cereales, su contenido de triptófano es más o menos el mismo que la cebada, avena, trigo y la cantidad de metionina es alrededor de dos veces la de otros cereales (Gorbitz, 1975; citado por Vivas, 1979).

Tabla 3. Aminoácidos esenciales de la quinua y del patrón FAO/OMS/ONU para niños en edad preescolar de 2 a 5 años (g/100 g proteína)

Aminoácidos Esenciales	Quinua	Patrón FAO
Fenilalanina +tir	4.01	6.3
Triptófano	1.26	1.1
Metionina +cis	2.12	2.5
Leucina	6.74	6.6
Isoleucina	6.95	2.8
Valina	7.81	3.5
Lisina	6.80	5.8
Treonina	4.51	3.4
Arginina	7.03	-
Histidina	3.04	1.9
Proteína total%(N x 6.25)	11.7	

Fuente: Adaptado de Velezví y Estrada, 2006.

La lisina que es uno de los aminoácidos más escasos en los alimentos de origen vegetal, se muestra en la quinua en una proporción que al menos duplica la contenida en los otros cereales. Esta ha sido la base para considerar el reemplazo de las harinas de trigo con

quinua a fin de hacer un alimento popular con un mejor contenido de este importante aminoácido (Tapia *et al.*, 1979).

### **2.1.5 Volúmenes de producción de quinua**

La región Puno, es el primer productor de quinua a nivel nacional cultivándose en la campaña agrícola 2010-2011 alrededor de 27,189 ha, con un rendimiento promedio de 1.18 t/ha. y una producción de 32,223.55 t, que representa el 75% del área cultivada en el Perú, constituyendo una ventaja comparativa y competitiva frente a otras regiones del país (Proyecto quinua, 2012). Los principales departamentos productores de quinua en el Perú son: Puno, productor por excelencia, donde se concentra alrededor del 80% de la producción nacional; seguido por Cusco, Ayacucho, apurímac y Junín con 5%, 5%, 3% y 3% para el respectivamente para el 2008. Estados Unidos es el principal destino de exportación de quinua peruana, y concentra el 67% del total de las exportaciones, seguido de Canadá, Australia y Alemania (5% cada uno) (MINAG, 2013).

### **2.1.6 Transformación primaria e industrial de la quinua**

En la actualidad, la quinua constituye el alimento básico de muchos pueblos, donde llega a ser el principal integrante de la dieta diaria, quienes lo usan en muy variadas formas, tales como: K`ispiño, quinua graneada, sopa de quinua, pan, galletas, jugos, etc. Industrialmente se ha obtenido productos tales como: quinua perlada, quinua pre-cocida, quinua instantánea, sémola (León *et al.*, 2006). Hojuela de quinua, harina de quinua, fideos, pipocas de quinua, grageas turroneas y barras energéticas (León *et al.*, 2006; Soraide, 2012).

## 2.2 Cocción

La cocción se puede sencillamente definir como el tratamiento térmico de los alimentos con el fin de mejorar sabor, digestibilidad y seguridad. La cocción implica transferencia tanto de *calor* como de *masa*. Los métodos tradicionales de cocción como la ebullición y el horneado son mejoras del método original en el que se utilizaban hogueras al aire libre. Los únicos métodos de cocimiento que no se derivan de esta técnica de la hoguera son los métodos de cocción por microondas y por inducción electromagnética (Fox y Cameron, 2008). El término cocción sugiere la imagen del alimento tratado por calor en el hogar o en una instalación industrial, para producirle una serie de cambios en su textura, color, composición (sabor, digestibilidad, calidad nutricional) que mejoren su aceptación por el consumidor. En los tejidos vegetales la hidrólisis de los constituyentes de las paredes celulares y el hinchamiento debido a la expansión de los gases y a los cambios en la capacidad de retención de agua (gelatinización de los almidones) afectan también la textura (Casp y Abril, 1999).

### 2.2.1 Marmitas de cocción abiertas

Son recipientes de sección circular o cuadrada con una capacidad que puede oscilar entre 200 y 1 000 litros. Pueden estar contruidos en obra (mampostería, hormigón armado) con el recubrimiento sanitario adecuado o de acero inoxidable (pared simple aislada o doble pared con camisa de calefacción). El tratamiento se realiza por inmersión en el líquido contenido en la marmita, que se mantiene a la temperatura deseada con un sistema de calefacción adecuado. Para la calefacción puede emplearse vapor a baja presión, aceite térmico, energía eléctrica, etc. Debiéndose montar también el correspondiente sistema de control de la temperatura de proceso. Las marmitas están equipadas con tapaderas abatibles que reducen las pérdidas de calor y minimizan la emisión de vapor al ambiente

circundante. Cuando se emplean baterías de marmitas se deben disponer campanas extractoras para conducir al exterior las pérdidas de vapor producidas. Los productos a cocer se introducen en estas marmitas en cestas metálicas de geometría apropiada a la forma de la marmita (Casp y Abril, 1999).

### **2.2.2 Cocción húmeda de quinua**

De La Riva 2010, investigó el efecto de la cocción en los compuestos bioactivos de la quinua, sometiendo a tratamiento térmico de cocción húmeda, el mismo que realizó en una proporción 1:4 (p/v) a 86°C a presión atmosférica durante 45 minutos, separándolo por decantación la parte sólida del líquido.

### **2.3 Dureza**

La dureza es la fuerza máxima obtenida durante el primer ciclo de compresión. Se refiere a la fuerza requerida para comprimir un producto entre los molares o entre la lengua y el paladar. Es la resistencia a la penetración, donde varios procedimientos son utilizados para medir la dureza, y estos dependen del material con que esté hecha la sustancia, su espesor y la carga aplicada (Demonte, 1995). Al medir la dureza de un alimento, o sea, la fuerza requerida para deformarlo se está evaluando si es blando, firme o duro (Coste, 1998). En la industria alimenticia la dureza se mide con el penetrómetro y el durómetro: el penetrómetro mide la dureza de algunos alimentos que se consideran duros por ejemplo frutas como las peras, manzana, aguacates etc. La medida de la dureza puede ser afectada por muchos factores tales como la temperatura, humedad, tamaño, forma cuando se realiza la medición (Demonte, 1995).

## 2.4 Congelado

### 2.4.1 Congelado de alimentos

Con una congelación lenta, se forman grandes cristales que producen roturas celulares de carácter irreversible (Madrid *et al.*, 2010). Durante la congelación cuando la velocidad de enfriamiento es demasiado lenta (Bomben, 1982; citado por Brennan, 2008), los cristales de hielo pueden formarse en el espacio intercelular y provocar la migración del agua desde el interior de la célula. Esta translocación de agua puede producir cambios irreversibles en el tamaño celular. Además se puede producir cambios en las membranas celulares con la consiguiente pérdida de agua y de enzimas que son las responsables de los cambios de color y de olor que se producen durante la descongelación. La congelación lenta es un proceso en el que la temperatura deseada se alcanza en 3 a 72 horas. La congelación rápida tiene más ventajas que la congelación lenta desde el punto de vista de la calidad del producto. Con respecto a la formación de cristales en la congelación, es la lenta la que favorece la formación de grandes cristales extracelulares, mientras que la rápida permite la producción de pequeños cristales de hielo intracelulares (Jay, 2009).

### 2.4.2 Formación de la microestructura durante la solidificación

La fuerza global impulsora que determina la solidificación en las distintas partes del proceso es un complejo equilibrio de factores termodinámicos y de transferencia de masa (Sahagian, 1995; citado por Brennan, 2008). Puesto que el crecimiento de los cristales tiende a ser paralelo y opuesto a la dirección de la transferencia de calor, las dendritas, parecidas a dedos, se pueden formar si se realiza una transferencia de calor unidireccional (Kurz, 1987; citado por Brennan, 2008). La dendrita es la forma más importante de cristales que se forma bajo la congelación unidireccional (Kurz, 1987; citado por Brennan,



2008). En los enfriamientos direccionales se pueden formar estructuras similares a las células. Sin embargo la anisotropía en las propiedades de transferencia de calor y de masa tienden a favorecer las células dendríticas y el crecimiento dendrítico. Cuando se rompe la interface planar de solido-liquido comienza la formación de una dendrita. Los extremos dendríticos van sorteando los solutos en todas las direcciones y, en consecuencia, dichos solutos se acumulan en los espacios que hay entre las dendritas con lo que se favorece la formación de tipo celular. Si las condiciones del medio lo permiten se forma posteriormente ramificaciones secundarias (Brennan, 2008). Los movimientos del frente de congelación están gobernados por una combinación de transferencia de calor y de masa. Durante el enfriamiento unidireccional, la transferencia de calor tiende, debido a la alta conductividad térmica del hielo y a sus bajos coeficientes de difusión de masa, a ser más rápido que la transferencia de masa. En consecuencia la difusión de solutos será el actor limitante del crecimiento y se observará en la región terminal y se observará en la región terminal un súper enfriamiento. Este súper enfriamiento es conocido como súper enfriamiento constitucional (Brennan, 2008).

### **2.4.3 Congelado del agua en los alimentos**

El punto de congelación del agua disminuye por la presencia de sólidos disueltos, en este caso la disminución es proporcional a la concentración molecular del material disuelto. Así el agua en los tejidos y los alimentos vegetales no se congela sino hasta un valor de 0°C. Este hecho debe tenerse en cuenta cuando se conserven alimentos por almacenamiento en frío, en el que se utilizan normalmente temperaturas de -18°C a fin de asegurar que se congele el agua contenida en los alimentos. Cuando el agua se congela aumenta su volumen debido a un aumento en el número de hidrogeno y la formación de una estructura hexagonal que es muy abierta. Esto hace que el hielo flote sobre el agua conservando así el

calor del agua que está abajo; esto tiene importantes consecuencias en la naturaleza, ya que permite que continúe la vida vegetal y animal debajo de la superficie del hielo. Otros efectos notables de la formación del hielo son el rompimiento de los tejidos vegetales que ocurren cuando se congela la sabia de la planta, y la ruptura de los tejidos de los alimentos congelados que tiene lugar si se deja que se formen grandes cristales de hielo (Fox y Cameron, 2008).

## 2.5 Secado

### 2.5.1 Aspectos generales sobre secado

El secado o deshidratación se define como aquella operación unitaria mediante la cual se elimina la mayor parte del agua de los alimentos por diversos procedimientos entre los cuales el más difundido es el secado por evaporación, aplicando calor es decir, el agua se elimina en forma de vapor mientras el alimento está siendo calentado. Otros procedimientos de amplia utilización son la liofilización y la deshidratación osmótica (Cheftel y Cheftel, 1999). La deshidratación es un método frecuentemente utilizado para reducir la actividad de agua y, consiguientemente, prolongar la vida útil de los alimentos. Además de facilitar la conservación del producto, reduce el peso y de ordinario, el volumen por unidad de “valor alimenticio” (Brennan *et al.*, 1998).

Uno de los cambios físicos que se presenta durante el secado de alimentos es la reducción del volumen así como la pérdida de agua, lo que provoca que la estructura celular sufra tensiones, dando como resultado la disminución de las dimensiones y un cambio en la forma del alimento (Mayor y Sereno, 2004). El secado implica la aplicación simultánea de calor y la eliminación de humedad de los alimentos (Sharma *et al.*, 2003). El secado en bandeja es la técnica más común porque no requiere el uso de equipo altamente

especializado como ocurre con el secado por atomización o en la liofilización (Ibarz *et al.*, 2000).

El objetivo que conducen a la deshidratación de los alimentos consiste en reducir su contenido de agua hasta un valor tal que inhiba toda actividad microbiana o enzimática (Rodríguez *et al.*, 2002). El secado de los productos alimenticios es un importante método de conservación y es aplicable a muchos productos industriales y agrícolas en la actualidad (Togrul y Pehlivan, 2003). La estabilidad física, química y microbiológica de los alimentos deshidratados es influenciada por su actividad de agua ( $a_w$ ). Dicha estabilidad se produce principalmente como consecuencia de la relación entre el contenido de humedad en equilibrio y su correspondiente  $a_w$  (Sablani *et al.*, 2001).

En el mercado puede encontrarse una amplia variedad de productos deshidratados (vegetales, frutas, carnes, pescados, cereales y productos lácteos) o formulados a partir de ingredientes deshidratados como en el caso de salsas y sopas en polvo (Fito *et al.*, 2001). En las razones para la deshidratación de alimentos, es la elaboración de alimentos de conveniencia (fáciles de preparar). Buenos ejemplos son el café y el pure de patata instantáneos. En ambos casos todas las fases de preparación y cocinado se realizan antes de que los productos sean desecados. El consumidor simplemente añade agua y remueve o mezcla (Potter y Hotchkiss, 1999).

## **2.6 Actividad de agua y estabilidad de alimentos deshidratados**

### **2.6.1 Actividad de agua y presión de vapor relativa**

Desde hace mucho tiempo se sabe que existe una relación, aunque imperfecta, entre el contenido de agua de un alimento y su vida útil. Los procesos de concentración y deshidratación se aplican primariamente para reducir el contenido de agua de un alimento, aumentando simultáneamente la concentración de solutos y reduciendo su alterabilidad o

percibibilidad. No obstante, también se ha observado que diferentes tipos de alimentos con el mismo contenido de agua difieren significativamente en su estabilidad o vida útil. En consecuencia el contenido de agua por si solo no es un indicador de real de la estabilidad. Esta situación se atribuye en parte, a diferencias en la intensidad con que el agua se asocia con los constituyentes no acuosos; el agua implicada en asociaciones fuertes es menos susceptible o propensa para las actividades degradativas, tales como el crecimiento de microorganismos y las reacciones químicas de hidrólisis, que el agua débilmente asociada. El término “actividad de agua” ( $A_w$ ) se implantó para tener en cuenta la intensidad con que el agua se asocia a los diferentes componentes no acuosos (Fennema, 2000).

La ( $A_w$ ) se correlaciona suficientemente bien con las velocidades de crecimiento microbiano y muchas reacciones degradativas, por lo que es un indicador útil y práctico de la estabilidad del producto y de la seguridad microbiana (Fennema, 2000).

En la Figura 1 se presenta los cambios que ocurren en los alimentos en función de la actividad de agua.

### **2.6.2 Factores que afectan la estabilidad**

Mediante la desecación de los alimentos es una tecnología de conservación de alimentos casi tan antigua como el ser humano, el principal problema que presenta es que generalmente el tratamiento térmico que supone implica un deterioro nutricional y organoléptico importante (Heldmann y Lund, 1992, citado por Morata, 2010, citado por Luna y Aguilar, 2011).

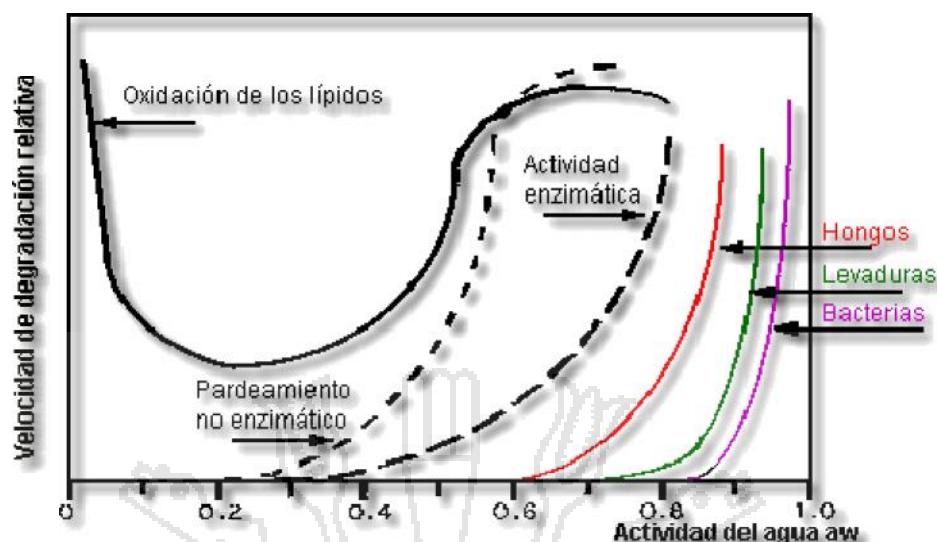


Figura 1. Cambios que ocurren en los alimentos en función de la actividad de agua.

Fuente: Adaptado de Badui, 2006.

Un importante factor que afecta la estabilidad de los alimentos deshidratados es la actividad de agua ( $A_w$ ). Tanto la velocidad de las reacciones químicas como la actividad microbiana están directamente controladas por la  $A_w$ . (Labuza, 1985). Los microorganismos para su crecimiento en los alimentos dependen de factores como el pH, presencia o ausencia de oxígeno, de nitritos y temperatura; puede interactuar fuertemente la  $A_w$  para inhibir a un microorganismo o grupo de microorganismos. El crecimiento bacteriano cesó por debajo de 0,62 (Trolle, 1980; citado por Roque, 2001; citado por Velezvia, 2005). Las reacciones enzimáticas están condicionadas muy íntimamente por la  $A_w$ . Cuando la actividad de agua tiene valores de 0.25 a 0.30, la actividad enzimática aumenta considerablemente cuando la  $A_w$  sobre pasa el valor 0.7, debido al aumento de la fase acuosa con la consiguiente disolución y difusión del sustrato hacia la enzima (Cheftel, 1980).

Los microorganismos en los alimentos, deben contender con una amplia gama de elementos que influyen en su crecimiento. Factores tales como el pH, presencia o ausencia

de Oxígeno, de nitritos y temperatura, pueden interactuar fuertemente con la Aw para inhibir a un microorganismo o grupo de microorganismos. El crecimiento bacteriano cesa por debajo de 0.62 (Troller, 1980).

### **2.6.3 El agua en los alimentos**

El agua es un contribuyente importante a las propiedades organolépticas de los alimentos. La pérdida de agua, en los alimentos ricos en ella, o la ganancia de agua en alimentos en que es escasa, reduce su calidad organoléptica y por tanto su aceptabilidad. Por otra parte, la presencia de agua, a ciertas concentraciones, en los alimentos facilita su deterioro por acción de microorganismos y las enzimas, o a través de reacciones químicas o enzimáticas. Por lo tanto, retirando agua de los alimentos o haciéndola menos disponible, se puede extender la vida útil de los mismos (Brennan *et al.*, 1998).

## **2.7 Rehidratación de alimentos**

### **2.7.1 Antecedentes generales de la rehidratación de alimentos**

Algunos alimentos deshidratados enteros, en trozos o pulverizados, deben ser rehidratados para su consumo o uso posterior en diferentes procesos. Es por ello que el estudio de la transferencia de materia ocurrida durante el fenómeno de rehidratación es importante, por ejemplo para el caso de la leche en polvo, esta no solo debe disolverse rápidamente, sino que también se debe formar una solución uniforme de características lo mas parecida posible a la leche fresca (Hogekamp y Schubert, 2003).

Las operaciones previas a la deshidratación, llamadas pretratamientos tienen marcada influencia sobre las características y la composición del producto finalmente rehidratado. Aquellos pretratamientos que contribuyen a mantener la integridad de los tejidos permiten

evitar mayores pérdidas de sólidos solubles hacia el medio de rehidratación (Lewicki, 1998). Ya que durante el escaldado de vegetales, existen pérdidas por difusión de sólidos:

Vitaminas, azúcares, aminoácidos, minerales; adicionalmente una cantidad importante de sólidos solubles pueden migrar a la solución durante la rehidratación, afectando a la calidad nutricional del producto y su capacidad de imbibición de agua (Marabi *et al.*, 2004). Los pretratamientos que emplean altas presiones, previos a la deshidratación osmótica provocan cambios en la estructura de los tejidos, la compactación de las estructuras celulares y transformaciones de los geles de la pectina, modificando negativamente la posterior rehidratación del producto (Rastogi y Niranján, 1998).

Por otra parte la deshidratación a altas temperaturas provoca cambios que son irreversibles en el alimento: pérdida de textura, disminución de vitaminas, color y aroma entre otros.

Varios autores proponen que la rehidratación se puede considerar como una medida del daño en el alimento ocurrido durante la deshidratación, considerándose como un complejo proceso que ayuda a restaurar las propiedades del alimento fresco, anteriormente deshidratado con o sin pretratamientos al secado (Hogekamp y Schubert, 2003). En algunos casos la velocidad de rehidratación sirve como medida de la calidad del producto deshidratado, siendo los alimentos deshidratados en condiciones óptimas, los que se deterioran menos y se rehidratan en forma normal (Weerts *et al.*, 2006). Los alimentos deshidratados deben en lo posible rehidratarse lo más rápido posible y mostrar las mismas características estructurales y químicas del alimento fresco, como también sus propiedades nutricionales y sensoriales (Vega, 2003).

La rehidratación no es el proceso inverso de la deshidratación, (Hogekamp y Schubert, 2003; Fellows, 1994) puesto que ésta provoca cambios que son irreversibles: se modifica la textura, los solutos migran y parte de las sustancias volátiles se pierde. El tratamiento térmico reduce el grado de hidratación del almidón y la elasticidad de las paredes celulares

y coagula además las proteínas reduciendo su capacidad de retención de agua. La velocidad y la intensidad de la rehidratación sirven como medida de la calidad del producto deshidratado: los alimentos deshidratados en condiciones óptimas se deterioran menos y se rehidratan más rápidamente y de forma más completa que los deshidratados en peores condiciones (Fellows, 1994).

### **2.7.2 Capacidad de Rehidratación ó Relación de Rehidratación**

La capacidad de rehidratación (rehidratabilidad) de un alimento previamente desecado es la propiedad relacionada con el grado y velocidad con que adquiere agua hasta alcanzar un contenido próximo al de su estado original. La reconstitución “acuosa” del producto depende de los cambios estructurales y físico-químicos que le haya podido causar su deshidratación, los cuales están determinados, a su vez, por su composición y por las condiciones de operación del proceso de secado seguido. La deshidratación del producto puede afectar a componentes tales como almidones y proteínas, que presentan una gran capacidad de retención de agua. El control de la temperatura permite, por tanto mejorar la rehidratabilidad del producto, al tiempo que se consigue un secado mas uniforme (Rodriguez *et al.*, 2002).

La capacidad de rehidratación se refiere a la cantidad máxima de agua que el producto es capaz de tomar en la inmersión (Arriola *et al.*, 2006).

La rehidratación de materiales deshidratados está compuesta de tres procesos simultáneos: inhibición del agua respecto al material deshidratado, el hinchamiento y la lixiviación de los sólidos solubles (Lewicki, 1998; Krokida y Marinos-Kroudis, 2003). Antes de aplicar rehidratación a alimentos deshidratados, se deben conocer las características del alimento en su estado fresco y deshidratado, ya que las propiedades físico-químicas, mecánicas (microestructurales), sensoriales y nutricionales, cambian considerablemente de un



producto fresco a deshidratado, de tal manera que estos factores determinan el comportamiento de los alimentos en el proceso de rehidratación (Krokida y Marinos-Kouris, 2003).

El grado de rehidratación está en función del grado de ruptura de la célula y de su estructura. Krokida y Marinos-Kouris (2003), Ramos *et al.*, (2003) y Lewiki *et al.*, (1997), observaron que durante el secado se presenta una ruptura celular irreversible, resultando la pérdida de la integridad y, por lo tanto, una estructura densa de vasos capilares, encogidos y destruidos debido a la reducción de las propiedades hidrófilas, que refleja una incapacidad en la retención de agua suficiente del producto rehidratado. El encogimiento origina que el volumen del producto disminuya debido a que el agua es evaporada, produciendo que la estructura superficial durante el secado se deforme fácilmente provocando huecos, mientras que la parte interna tiene pocas rupturas, donde la difusividad es reducida debido a que el agua restante está ligada por puentes de hidrogeno. Por lo tanto se espera que la microestructura de los poros y la porosidad en sí, jueguen un papel importante en el mecanismo de rehidratación (capilaridad, absorción, difusión) (Lewicki *et al.*, 1997; Marabi y Saguy, 2004).

En cuanto a la transferencia de materia ocurrida durante la rehidratación, se puede mencionar que el agua es absorbida más rápidamente al inicio del proceso y luego disminuye gradualmente la absorción hasta que el contenido de humedad alcanza un equilibrio, es decir, que todos los espacios inter o intracelulares queden saturados con agua (Krokida y Marinos-Kouris, 2003), o con solución hidratante. De esta manera la absorción de agua por parte de los tejidos del alimento deshidratado aumenta sucesivamente el volumen del mismo, junto con una salida de los sólidos desde el interior de estos tejidos (Krokida y Marinos-Kouris, 2003).

Una de las variables operacionales del secado (temperatura, velocidad de aire, humedad relativa y tiempo) afectan significativamente la calidad final del producto rehidratado, por lo que es común utilizar índices numéricos para observar este efecto, entre estos indicadores destacan la capacidad de rehidratación (ecuación 1) que tienen que ver con la estructura, el tejido (Marín *et al.*, 2006) .

$$\text{Relacion de Rehidratación} = \frac{W_r}{W_d} \quad (1)$$

Donde

$W_r$  = Masa en gramos de muestra rehidratada.

$W_d$  = Masa inicial en gramos de la muestra antes de la rehidratación.

La mayoría de los productos deshidratados son generalmente rehidratados para su uso. Al rehidratarse pretende obtener productos que al reconstituirse adquieran lo más posible sus características iniciales y que lo hagan en el menor tiempo; sin embargo éste proceso se ve influido por las condiciones del secado, la preparación de la muestra, la composición de la muestra, el grado de ruptura estructural y química (McMinn y Magee, 1997; citado por Melquíades *et al.*, 2009).

Durante el proceso de rehidratación el material seco que se sumerge en agua o algún otro medio acuoso sufre diferentes cambios físico químicos simultáneos (Ejemplo: contenido de sólidos, porosidad, gelatinización y textura), además de tener varios procesos en paralelo incluyendo el transporte del líquido a través de la red porosa y difusión a través de la matriz sólida, el hinchamiento del material donde el cambio del volumen del producto

deshidratado es proporcional a la cantidad de agua absorbida, aumentando o recuperando su tamaño y volumen inicial (Lewicki, 1998; citado por Acosta, 2009).

La deshidratación y rehidratación de alimentos son operaciones unitarias complejas que proporcionan una gran diversidad de productos, los cuales, presentan cambios a nivel microestructural, de carácter sensorial y de mayor importancia nutricional; es por ello, que en el campo de la ciencia, tecnología e ingeniería de alimentos deben encontrar las combinaciones necesarias de tratamientos térmicos o no, para mejorar las características funcionales y estructurales, junto con la estabilización y calidad final de los alimentos. A lo anterior se deben sumar las nuevas tecnologías (ultrasonidos, pulsos eléctricos, altas presiones) emergentes que otorgan alimentos de mejor calidad nutricional, y nuevos instrumentos que sirven para medir estas características como la microscopía, análisis de imagen, modelos matemáticos entre otras (Marín *et al.*, 2006).

### **2.7.3 Factores que influyen sobre el proceso de rehidratación**

Dentro de los factores que influyen en los mecanismos de transferencia de materia ocurridos durante el fenómeno de rehidratación de alimentos, están los factores propios del proceso de deshidratación (pretratamiento, método de secado, temperatura y velocidad de secado, almacenamiento) y las condiciones de rehidratación a utilizar (Lewicki, 1998).

#### **2.7.3.1 Factores extrínsecos del proceso de rehidratación**

Pretratamientos al secado: todo pretratamiento de secado tiene cierta influencia sobre el producto deshidratado en el proceso posterior de rehidratación. Estos pretratamientos se pueden citar de acuerdo a tratamientos químicos con compuestos inorgánicos (dióxido de azufre, cloruro de calcio, metasulfito de potasio, cloruro de sodio, bicarbonato de sodio), orgánicos (sacarosa, glicerol, dextranos, almidón) o no químicos (osmosis, escaldado, congelado, altas presiones) (Lewicki, 1998). Por ejemplo la tecnología de altas presiones pueden ser utilizados para reducir la pérdida de solutos durante la rehidratación, una

posible razón se puede atribuir a los cambios estructurales por las altas presiones: compactación de la estructura celular y la formación de una re-gel con iones ligados a pectina de-escarificada (Rastogi y Niranján, 1998).

Método de secado: los diferentes tipos o sistemas de secado son la principal causa que pudiese afectar a la rehidratación del producto deshidratado. También se pueden hacer combinaciones de los sistemas de secado, por ejemplo aire caliente con microondas, irradiación previa o al mismo tiempo; igualmente se debe considerar el tipo de secado que menor daño provoque a la estructura del producto, y sobre sus propiedades sensoriales y nutricionales (Sanjuan *et al.*, 2001). Por ejemplo, la combinación de deshidratación osmótica y aire caliente mantiene de mejor manera el color superficial del pimiento que el secado solo por aire caliente (Vega, 2003). Alimentos con alto contenido de almidón (papas) secados con microondas retienen dos veces más vitamina C que por secado convectivo (Hogekamp *et al.*, 2003). Recientemente, pretratamientos con campos de pulsos eléctricos, ultrasonidos e infrarrojo en combinación con secado convectivo permite una mejor permeabilización de las membranas celulares, menos cambios estructurales y una mayor retención de sólidos luego de la rehidratación (Krokida y Maroulis, 2001).

Temperatura y velocidad de secado: se ha observado que altas temperaturas de secado implican un menor tiempo de rehidratación, pero los índices de calidad del producto final presentan cambios muy variables con respecto al producto fresco, como son la textura y el color, dejando ver que la temperatura de secado es uno de los principales factores que influyen sobre la calidad del producto rehidratado (Lewicki, 1998). El aumento de la velocidad de secado provoca un menor tiempo de secado, pero también presenta la misma tendencia que la temperatura de secado, un mayor daño celular (Lewicki, 1998).

Temperatura de almacenamiento: durante el almacenamiento se va perdiendo calidad de los productos deshidratados (color, aroma, textura), además aparecen reacciones de

pardeamiento no-Enzimático. Estos daños se hacen más severos a medida que se aumenta la temperatura de almacenaje, ya que a mayor temperatura mayores son los cambios composicionales y estructurales de los polisacáridos de la pared celular y menor la capacidad de absorción de agua, reflejándose esto último en la rehidratación. Por todo lo anterior es que se debe optimizar las condiciones de almacenamiento (temperatura, humedad relativa, oxígeno, ventilación, condiciones higiénicas, equipos, entre otros) (Weerts *et al.*, 2006).

### **2.7.3.2 Factores intrínsecos del proceso de rehidratación**

**Líquido de rehidratación:** los alimentos deshidratados generalmente se rehidratan con agua, pero en algunos procesos se utilizan medios de rehidratación tales como leche, yogur, disoluciones azucaradas o salinas, entre otros, siempre con el fin de mejorar las características finales del producto rehidratado, como son la textura, retención de color y aroma, aumento de la viscosidad, disminución de la actividad de agua ( $a_w$ ), reducción de tiempos de proceso entre otros (Lewicki, 1998). La velocidad de rehidratación es mayor en un medio como el agua, en cambio es menor por ejemplo en soluciones azucaradas, leche o yogurt, debido a la elevada viscosidad que presentan éstas, sin embargo estas últimas pueden transportar sólidos de importancia nutritiva al producto como vitaminas, proteínas, minerales, entre otros (Lewicki, 1998).

**La temperatura de la solución de rehidratación:** Un alimento deshidratado a una temperatura constante y luego rehidratado a diferentes temperaturas en un medio rehidratante, aumenta su contenido de humedad de equilibrio cuanto mayor sea la temperatura de rehidratación, debido al gradiente de calor entre el interior del alimento y el líquido de inmersión, además la alta presión que se ejerce sobre los gases que pudiesen estar atrapados entre los espacios intercelulares, permite que se muevan por difusión o

capilaridad, tomando ese lugar el líquido rehidratante (Krokida y Marinos-Kouris, 2003; Krokida y Maroulis, 2001). Con el aumento de la temperatura del medio de rehidratación se incrementó la velocidad del proceso, debido principalmente al aumento de la difusividad de agua y de solutos, otorgando así una reducción sustancial del tiempo de rehidratación. Esto influye sobre ciertas características del producto, como son la estructura de la pared celular, produciendo la pérdida de nutrientes y colorantes, no obstante con algunos pretratamientos al secado se puede evitar en parte estos problemas. Se ha demostrado que rehidratar a temperaturas menores a 40°C mantiene la estructura original de las pectinas presentes en la pared celular mejorando la capacidad de absorción de agua por el tejido. En otras investigaciones se ha logrado acelerar el proceso de rehidratación por medio de técnicas combinadas, destacándose la rehidratación con impregnación al vacío, uso de ultrasonido, adición de aditivos en el agua de rehidratación, etc., aunque estas técnicas son de elevado costo operacional (Lewicki, 1998; Vega, 2003).

Agitación durante la rehidratación: la generación de turbulencia en el medio de rehidratación logra una mayor homogenización, aumentando la entropía del sistema y la facilidad del intercambio de materia (agua y solutos), siempre teniendo en cuenta la velocidad de agitación (Kaymak-Ertekin, 2000).

Características del producto: antes de aplicar la rehidratación de alimentos deshidratados, se deben conocer las características del alimento en su estado fresco y deshidratado, ya que las propiedades físico-químicas, mecánicas (microestructurales), sensoriales y nutricionales cambian considerablemente de un producto fresco a deshidratado, de tal manera que estos factores determinan el comportamiento de los alimentos en el proceso de rehidratación (Bilbao *et al.*, 2005; Aguilera y Stanley, 2001).

### 2.7.4 Modelado matemático de la cinética de rehidratación

Para el modelado matemático de la transferencia de materia (agua) ocurrida durante el proceso de rehidratación de un alimento deshidratado existen varias ecuaciones empíricas que ajustan los datos experimentales de humedad en función del tiempo. Dentro de las más utilizadas están: el modelo empírico de Peleg (ecuación 2) el cual se ha demostrado que simula correctamente el proceso, además de describir ciertos mecanismos y variables existentes durante el mismo (García-Pascual *et al.*, 2006). En la mayoría de los estudios realizados sobre la rehidratación de los alimentos, los modelos de Fick y Peleg son los más usados por presentar parámetros de importancia para la optimización de los procesos (Bilbao-Sáinz *et al.*, 2005).

$$X_{wt} = X_0 + \left[ \frac{t}{K_1 + K_2 \cdot t} \right] \quad (2)$$

Siendo  $X_{wt}$  contenido de agua en un tiempo  $t$ ,  $X_0$  es el contenido de humedad en tiempo cero,  $K_1$  constante relacionada con la transferencia de masa desde el principio y  $K_2$  constante relacionada con la capacidad máxima de absorción de agua.

Algunos autores proponen el modelar la cinética de ganancia de masa durante la rehidratación, considerando las curvas de rehidratación o la capacidad de rehidratación, para lo cual se utiliza la ecuación propuesta por Langmuir (Ecuación 3) (Vega, 2003; citado por Marín *et al.*, 2006)

$$\frac{m}{m_0} = \frac{C \cdot t}{K + t} \quad (3)$$

Donde:  $C$  (g/g) sería la masa relativa en el equilibrio que depende únicamente de las características propias del tejido que rehidrata. La constante  $K$  (min.) es un parámetro

cinético relacionado con la resistencia que se opone el tejido a la rehidratación y equivale al tiempo de rehidratación necesario para alcanzar el 50% del peso adimensional en equilibrio.

### **2.7.5 Cambios en las propiedades fisicoquímicas y nutricionales de los alimentos durante la rehidratación.**

Entre las propiedades de calidad más importantes de un alimentos deshidratado que ha sido rehidratado, están las propiedades estructurales (densidad, porosidad, tamaño, poro, volumen específico), ópticas (color, apariencia), texturales (fuerza de compresión, relajación, tensión), mecánicas (estado del producto: cristalino elástico, vítreo), propiedades sensoriales (aroma, sabor, color) y propiedades nutricionales (contenido de vitaminas, proteínas, azúcares entre otras). La evaluación de todas o alguna de estas propiedades depende de los parámetros a considerar para un mercado específico (Vega, 2003; Aguilera y Stanley, 2001). Las características de calidad de un alimento deshidratado que ha sido rehidratado pueden mejorarse aplicando pretratamientos antes del proceso de secado, por ejemplo inmersión en soluciones azucaradas, salinas (NaCl) o ácidas (ácido cítrico y/o ascórbico), escaldado, deshidratación osmótica, microondas, entre otros.

Una propiedad estructural muy importante en frutas y verduras, frescas y procesadas, es la firmeza, la que puede ser analizada en productos rehidratados. El comportamiento de la firmeza del pimiento rojo y papaya, los cuales fueron deshidratados a distintas temperaturas (desde 40 a 80 °C) y luego rehidratados a 30 y 40°C, respectivamente. Para ambos productos se observa la misma tendencia, es decir a medida que aumentó la temperatura de secado aumentó la pérdida de la firmeza, con respecto al producto fresco (Vega, 2003; Vega y Lemus, 2006).



El color visual o superficial de los alimentos representa un parámetro de calidad muy importante y está dentro de las propiedades ópticas a evaluar en productos rehidratados

Un objetivo fundamental de una correcta rehidratación de un producto deshidratado, es poder reconstituir el alimento lo más parecido posible a su estado en fresco, pero no son solo los criterios de calidad los que se deben tener en cuenta, sino también el método de secado utilizado y las condiciones operacionales elegidas. Por ejemplo, los productos liofilizados se rehidratan a mayor velocidad que los sometidos a secado por aire caliente, debido a diferencias de tamaño, distribución y volumen de los espacios en los cuales se ocluye el gas (Lewicki, 1998). Por otra parte, ciertos azúcares presentan un comportamiento protector sobre la estructura celular durante la deshidratación y posterior rehidratación, al modificar las condiciones de transición de fase de los lípidos de la membrana, responsables de la rotura de la bicapa lipídica (Lewicki, 1998; Aguilera y Stanley 2001).

Los productos liofilizados o atomizados suelen tener un contenido de humedad muy bajo, cercano al 5%, pero estas técnicas son muy costosas y generalmente son utilizadas para leche infantil, setas, sopas, café, té e infusiones. Sin embargo, al rehidratar estos productos (liofilizados y atomizados) se obtienen productos muy parecidos a los originales, con un mayor valor nutritivo y cualidades sensoriales similares a las del alimento fresco, si se comparan con otras técnicas de secado (Barbosa, 2000).

### **2.7.6 Cambios microestructurales durante la rehidratación**

La rehidratación de alimentos también está siendo estudiada observando la microestructura del alimento fresco y comparándole con el alimento rehidratado. Actualmente el uso de diferentes técnicas de microscopía (light microscopy, transmission electronmicroscopy,

scannin gelectronmicos copy) como herramientas para la observación de los cambios provocados por los procesos de conservación en los alimentos, proporciona una visión imperceptible al ojo humano lo que ayuda para observar el verdadero daño provocado por el proceso (Aguilera y Stanley, 2001). Con esta técnica de imagen se puede observar daños en la pared celular y en la membrana citoplasmática, existencia de macromoléculas, estructura de la matriz celular y otros, con el fin de optimizar y mejorar el proceso de secado (Vega, 2003). Es muy interesante el análisis de los espacios intra e intercelulares, por donde se produce la transferencia de materia (líquidos y sólidos) durante las operaciones de secado y rehidratación (Lee *et al.*, 2006).



### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Lugar de ejecución

Las pruebas preliminares y definitivas del trabajo se desarrollaron en su parte operativa en las instalaciones del departamento de I+D de la planta de alimentos procesados de la empresa, Industria Alimentaria Natanael S.R.L. Juliaca-Puno-Perú. Las pruebas de rehidratación se desarrollaron en los laboratorios de: Microbiología Agroindustrial y Post-cosecha de la Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, de la Universidad Nacional del Altiplano-Puno. El procedimiento experimental se realizó entre los meses de julio y agosto del año 2013, los trabajos previos se realizaron en los años 2010-2012.

#### 3.2 Materias primas

Se utilizó dos variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), blanca de juli y salcedo INIA, provenientes de la estación experimental Salcedo INIA-Puno. La cantidad adquirida fue de 10 kg por cada variedad.

#### 3.3 Equipos y Materiales

##### 3.3.1 Equipos

- Equipo congelador semi-industrial dotado con un controlador digital de temperatura de la cámara 201 GA, ( $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ )
- Equipo secador de bandeja, dotado de un controlador digital de temperatura 101GA. ( $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ )
- Balanza analítica KERN & Sohn GmbH modelo ABS 220-4, (0.0001g de precisión )

- Determinador de Humedad RADWAG modelo PMC 50
- Penetrómetro
- Determinador de actividad de agua (aw) Aqualab SN: 540002581.
- Termómetro digital Multi- Thermometer -50 a +200 °C ( $\pm 0.1^\circ\text{C}$ )
- Cronómetro (0.1 segundos de precisión)
- Selladora neumática (0-999 segundos de sellado y 0-6 segundos de enfriado)
- Mesa de trabajo de acero inoxidable AISI 340
- Ollas de acero inoxidable y 5 litros de capacidad
- Cocina a gas / cocina eléctrica

### 3.3.2 Materiales y reactivos

- Baguetas de vidrio de 15 cm de longitud
- Luna de reloj
- Espátula cuchara
- Vasos de precipitado de 250 ml
- Recipientes de acero inoxidable
- Probeta de 100 ml
- Papel tissu
- Bolsas de polipropileno 10x8
- Coladores sintéticos y metálicos
- Agua destilada

### 3.3.3 Software

- MATLAB<sup>®</sup> (The Language of Technical Computing) R2013a
- Sigma Plot 11.2 (Exact Graphs and Data Analysis)
- Minitab 16 Statistical Software

### 3.4 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

El flujo de operaciones de la materia prima, para la elaboración del producto rehidratable a partir de quinua entera. Se indica en la Figura 2. A continuación se describen las operaciones para la elaboración del producto rehidratable.

#### 3.4.1 Descripción de las etapas para la obtención de la quinua cocida rehidratable.

##### **Materia Prima**

Se adquirieron 10 kg de dos variedades de quinua, blanca de juli y salcedo INIA, cada una de las variedades de quinua perlada fueron provenientes de Puno-Perú (INIA, 2012).

##### **Cocción**

Se sometieron a cocción húmeda en agua potable, a 89°C por 60, 90 y 120 minutos. El tiempo de cocción para una adecuada rehidratación se consideró la que poseía menor dureza.

##### **Ecurrido**

El proceso de escurrido se realizó por un tiempo de 10 minutos, en mallas metálicas, para un escurrido del agua después de la cocción de la quinua.

##### **Congelado**

La quinua se sometió a congelado a -18°C durante 72 horas, en el congelador con la finalidad de modificar la estructura de la pared celular.

##### **Secado**

Se sometió la quinua a temperaturas de secado de 70°C por 8 horas, en un secador de bandeja con aire forzado.

##### **Envasado**

Se envasaron las muestras, para que no haya absorción de humedad del medio ambiente.

## Flujo de operaciones para la obtención de quinua entera rehidratable

El flujo de operaciones se muestra en la Figura 2.

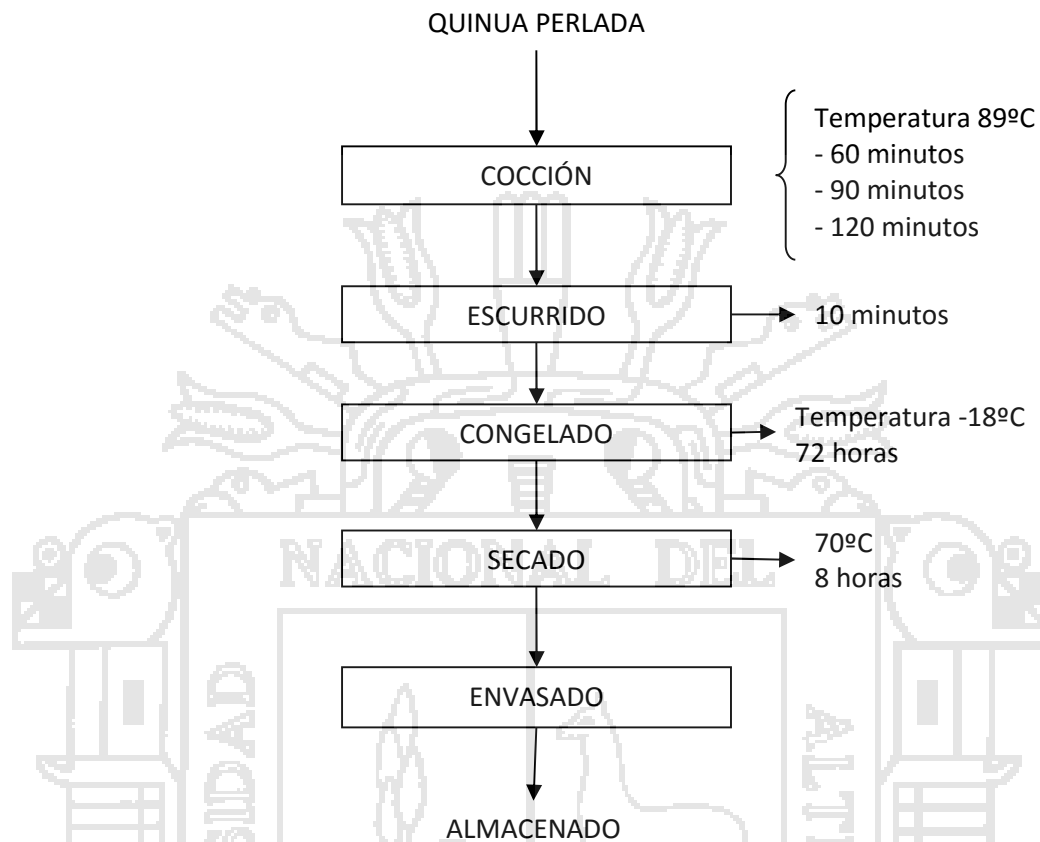


Figura 2: Flujo de operaciones para la elaboración de quinua rehidratable.

### 3.4.2 Metodología experimental de la rehidratación

#### 3.4.2.1 Rehidratación

Los ensayos de rehidratación se realizaron sobre las dos variedades de quinua al final del proceso de secado, cuando el contenido de humedad fue de 5.912% y 2.553% b.s para las variedades blanca de juli y salcedo INIA respectivamente. Para el rehidratado cada una de las muestras (1g de quinua deshidratada) se sumergieron en un baño de agua destilada en un vaso de precipitado conteniendo 50 ml de agua desmineralizada con una proporción de 1:50 (peso muestra: peso agua) a temperatura ambiente (Bilbao-Sainz *et al.*, 2005), se tomó

medida en una balanza analítica, KERN & Sohn GmbH modelo ABS 220-4 a intervalos de tiempo de 20 segundos hasta el término del proceso que fue de 300 segundos (Ramallo y Mascheroni, 2009) el exceso de agua fue retirada colocando las muestras en una malla durante 10 minutos.

El flujo de proceso utilizado para esta etapa se muestra en la Figura 3

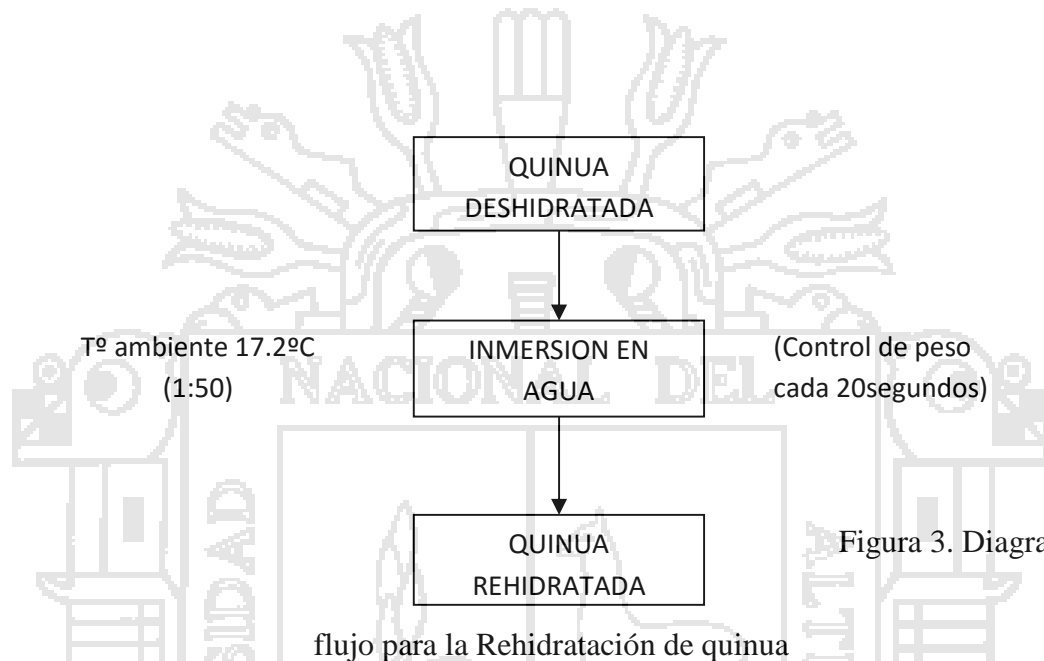


Figura 3. Diagrama de

flujo para la Rehidratación de quinua

### 3.5 MÉTOLOGÍA DE ANÁLISIS

#### 3.5.1 Cálculo de la dureza de la quinua

Se midió la dureza de las muestras de quinua, con un penetrómetro, la lectura de la fuerza máxima se hizo al sufrir una rotura de los granos de quinua (Valero y Ruiz, 2000).

#### 3.5.2 Cálculo de la cinética de rehidratación

Se modeló la cinética de rehidratación, con el modelo matemático propuesto por Peleg (1988).

$$X_{wt} = X_0 + \left[ \frac{t}{K_1 + K_2 \cdot t} \right] \quad (4)$$

Siendo  $X_{wt}$  contenido de agua en un tiempo  $t$ ,  $X_0$  es el contenido de humedad en tiempo cero,  $K_1$  constante relacionada con la transferencia de masa desde el principio y  $K_2$  constante relacionada con la capacidad máxima de absorción de agua. Y Langmuir, (Ecuación 3)

### 3.5.3 Cálculo de la capacidad de rehidratación

Los métodos de análisis aplicados a las materias primas fueron los siguientes

$$Rc = \frac{W_r}{W_d} \quad (5)$$

(Doymaz, 2008)

Donde:

$W_r$  = es el peso total al final del proceso de rehidratación

$W_d$  = es el peso del material seco

### 3.5.4 Actividad de agua

-Se determinó en el equipo AQUALAB. Siguiendo el método de lectura directa a temperatura ambiente (Rajkumar *et al.*, 2007).

### 3.5.5 Humedad

- Se determino por lectura directa en el equipo de determinación de humedad, RADWAG PMC50



### 3.6 UNIDADES DE ANÁLISIS Y OBSERVACIONES

#### 3.6.1 DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE COCCIÓN DE LA QUINUA PARA LA REHIDRATACIÓN

##### 3.6.1.1 Variables de estudio

1. Variedad de quinua:

2. Blanca de Juli

Salcedo INIA

Tiempo de cocción:

60 minutos

90 minutos

120 minutos

##### 3.6.1.2 Variables de Respuesta

Dureza

Indicador

Indicador de fuerza de deformación (N)

#### 3.6.2 DETERMINACIÓN DE LA CINÉTICA DE REHIDRATACIÓN DE LA QUINUA COCIDA

##### 3.6.2.1 Variables de estudio

Variedad de quinua:

1. Blanca de Juli

2. Salcedo INIA

Tiempo de rehidratación (s): 0, 20, 40, 60, 80...300

### 3.6.2.2 Variables de Respuesta

Ganancia de agua

Indicador

Capacidad de rehidratación (RC)

## 3.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para procesar los datos obtenidos durante la investigación de la cinética de rehidratación de la quinua, se aplicó el análisis de varianza (ANOVA), con un 95.0% de significancia y el test de Tukey (P 0.05) para determinar las posibles diferencias entre los tratamientos de cocción. Se trabajó con el programa MINITAB 16.

Los factores de estudio fueron el tiempo de cocción y la variedad de quinua. Se utilizó un diseño factorial 3x2. Ajustado al siguiente modelo estadístico.

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

i=niveles del factor A (tiempo de cocción)

j=niveles del factor B (variedad)

k=número de repeticiones

$Y_{ijk}$  = Variable de respuesta de la k-ésima observación (kg y RC)

$\mu$ =media de la población a la cual pertenecen las observaciones

$\mu_i$  = efecto del i-ésimo nivel del factor A

$\mu_j$  = efecto del j-ésimo nivel del factor B

$(\mu)_{ij}$  = efecto de la interacción de i-ésimo nivel del factor A con el j-ésimo nivel del factor B

$\epsilon_{ijk}$  = efecto del error experimental

Para la recolección de datos se utilizó el formato mostrado en la Tabla 4, donde se registraron los datos experimentales para cada variable de respuesta.

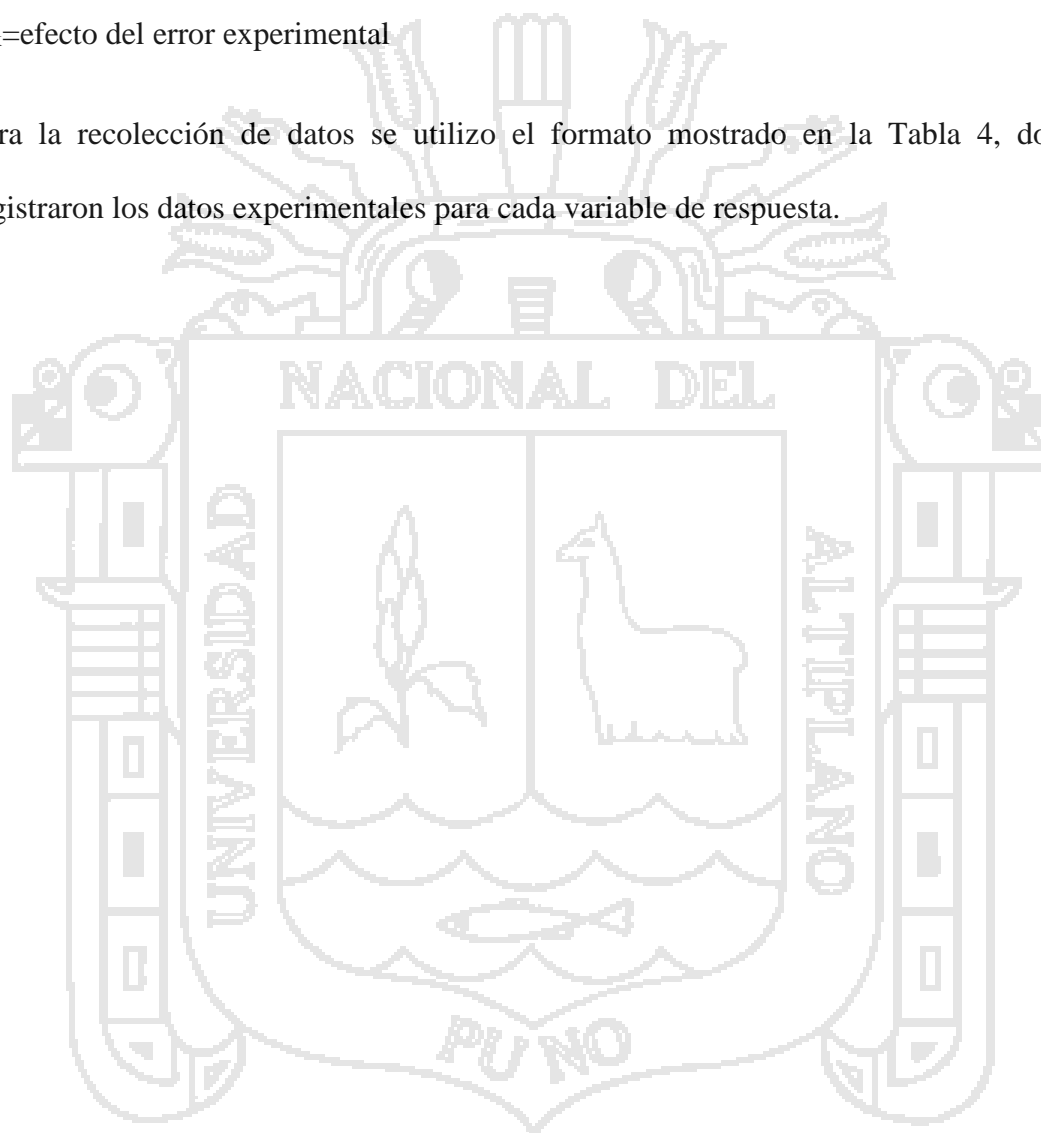


Tabla 4. Formato de recolección de datos.

Tiempo rehidratación (segundos)	T1			T2			T3			T4			T5			T6		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0																		
20																		
40																		
60																		
80																		
100																		
120																		
140																		
160																		
180																		
200																		
220																		
240																		
260																		
280																		
300																		

Donde:

T1, T2, T3, T4, T5 y T6 = tratamientos de tiempos de cocción

1,2 y 3= número de repeticiones

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1 Tiempo de cocción en dos variedades de quinua para el rehidratado adecuado

#### 4.1.1 Cocción

El tiempo de cocción para el rehidratado adecuado de la quinua rehidratable planteada para el trabajo de investigación, se consideró aquella que presente la dureza mínima. Esta consideración se realizó a fin de modificar la microestructura de la quinua, para el cual se usó un penetrómetro, dando como resultado adecuado un tiempo de cocción de 120 minutos. De acuerdo con De la Riva, (2010) reporta que el tiempo de cocción de la quinua variedad salcedo INIA fue de 45 minutos. En otro estudio con grano de arroz Borja, (2012) reportó que el tiempo de cocción fue de 17 minutos con una dureza de  $17,64 \pm 0,06$  Kg (172.99 N). Según Sanjuan *et al.*, (2001) el índice de capacidad de rehidratación puede verse afectada por una desnaturalización de las proteínas bajo el efecto del calor.

#### 4.1.1.1 Dureza de la quinua cocida

Tabla 5. Promedio de dureza (N) de dos variedades de quinua tras la cocción a 60, 90 y 120 minutos

TIEMPO	VARIEDAD	
	BLANCA DE JULI	SALCEDO INIA
60 min	13.5332±0.2308	14.9716±0.7950
90 min	8.3684±0.7181	9.6759±0.1025
120 min	7.4531±0.5386	5.8840±0.6924

La dureza de la quinua cocinada de ambas variedades de quinua se reportan por triplicado en el anexo 1. En la tabla 5 se presentan los valores promedios de la variación de la dureza, en función del tiempo de cocción (60, 90 y 120 minutos) y variedad de quinua.

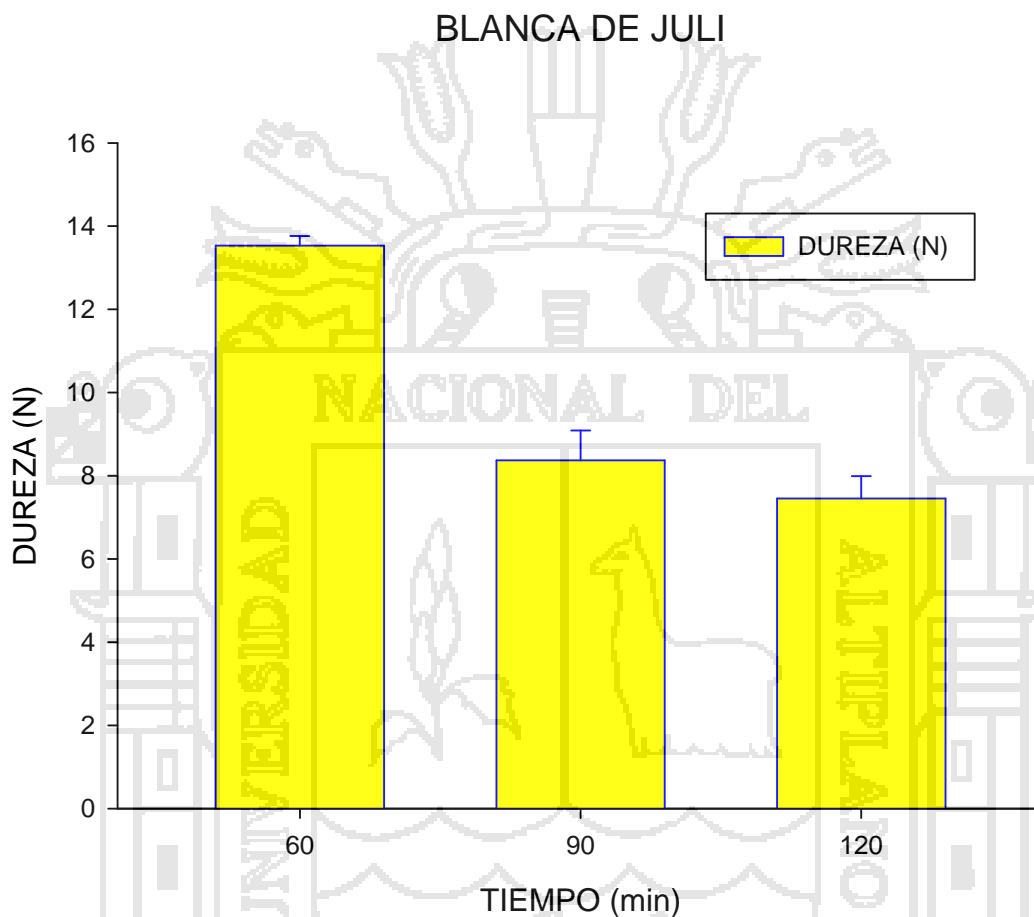


Figura 4. Dureza (N) de quinua cocida variedad Blanca de Juli a tres tiempos de cocción (60, 90 y 120°C)

## SALCEDO INIA

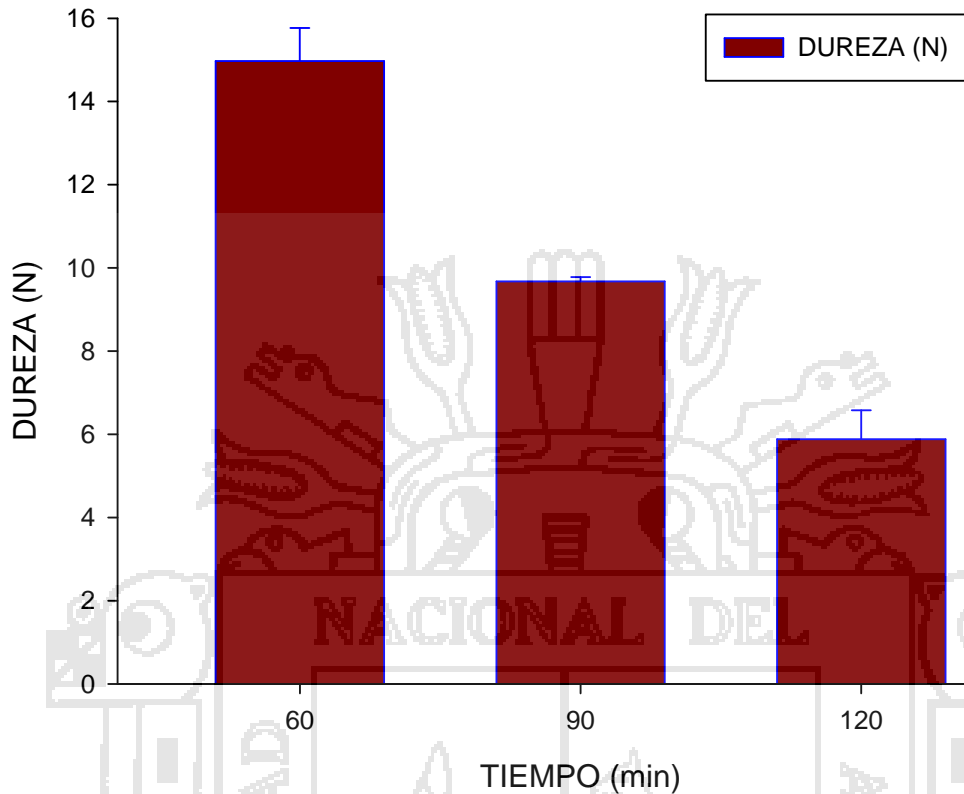


Figura 5. Dureza (N) de quinua variedad Salcedo INIA a diferentes tiempos de cocción (60, 90 y 120°C)

En la Figura 4 se muestra que la dureza de la quinua variedad Blanca de Juli, disminuye conforme el tiempo de cocción aumenta, el mismo efecto se puede observar en la figura 5, con la variedad Salcedo INIA. La figura 6 muestra la comparación de dureza en dos variedades de quinua cocinada Blanca de Juli y Salcedo INIA, se observa que en tiempos de cocción de 60 y 90 minutos la variedad Blanca de Juli es menor que la variedad Salcedo INIA, mientras a 120 minutos de cocción la variedad Salcedo INIA presenta menor dureza que la variedad Blanca de Juli.

## VARIETADES DE QUINUA

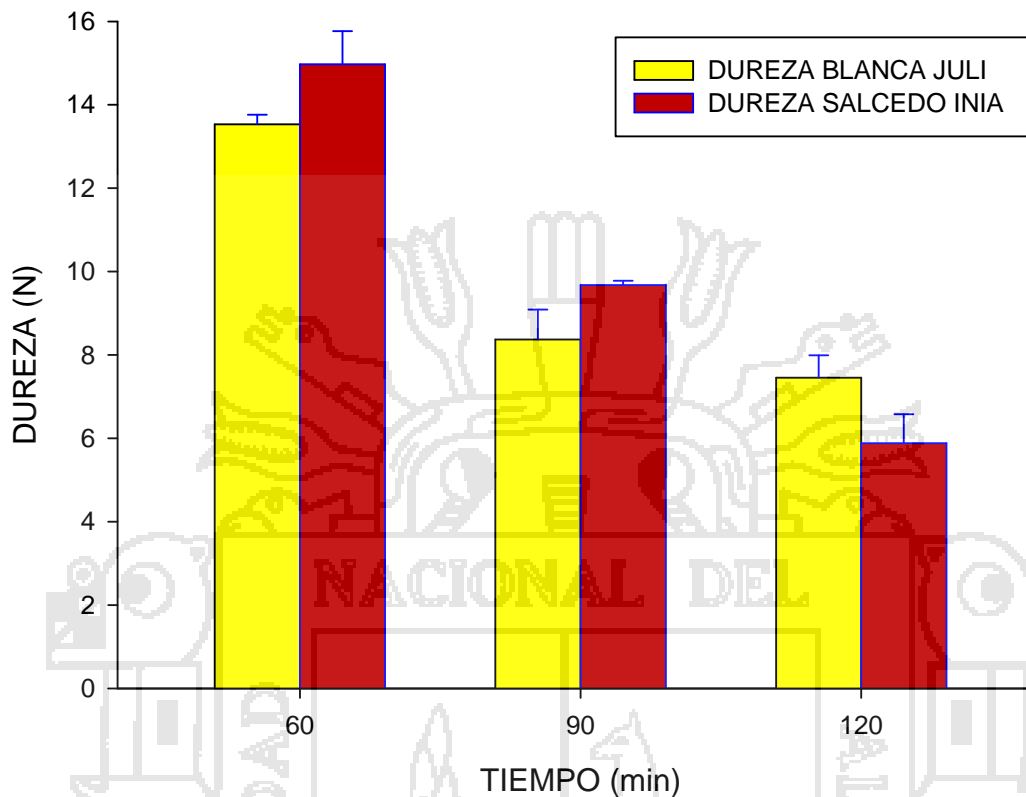


Figura 6. Comparación de dureza en dos variedades de quinua cocinadas a 60, 90 y 120 minutos.

En la Tabla 5 y Figura 6 se presentan la evaluación de la cocción mediante la dureza de dos variedades de quinua, y se observa que a medida que el tiempo de cocción aumenta, la dureza disminuye. A 60 minutos de cocción la variedad Blanca de Juli presenta menor dureza con respecto a la variedad Salcedo INIA, el mismo comportamiento se puede visualizar para el tiempo de cocción a 90 minutos, este comportamiento puede deberse a la cantidad de proteína en las diferentes variedades. López, *et al.*, (2006) en un estudio realizado donde muestra que una pasta hecha solo con sémola presenta menor dureza que la pasta elaborada con 0.5-2% de proteína. La variedad Salcedo INIA contiene mayor cantidad de proteína 16.32 que la variedad Blanca de Juli 12.89 según (Mamani, 2006).



Para el tiempo de cocción de 120 minutos se observa que la variedad Salcedo INIA presenta una menor dureza, en comparación con la variedad Blanca de Juli. Es posible que esta variación se deba probablemente a la desnaturalización de la proteína por efecto del prolongado tiempo de sometimiento al calor. Badui, (2006) menciona que la aplicación de calor es uno de los agentes desnaturalizantes de las proteínas. No se encontraron rangos de dureza en bibliografía para la quinua cocida, sin embargo la dureza para el arroz cocido reportada por Borja, (2012) Fue de  $17,64 \pm 0,06$  Kg (172.9902 N), a un tiempo de 17 minutos. Este valor supera ampliamente a los valores en estudio, debido al tiempo de cocción inferior a 60 minutos. Parece ser que los datos obtenidos en el estudio de investigación son favorables para la reconstitución posterior de la quinua.

#### **4.1.1.2 Análisis de varianza**

El análisis de varianza efectuado resulta altamente significativo para el tiempo, y no significativo para la variedad, por cuanto el valor P para el tiempo es  $0.000 < 0.05$  en la tabla F. y el área bajo la curva para la variedad se encuentra dentro de la hipótesis nula. Por cuanto se trata de un diseño factorial se considera a las interacciones, el cual resultó 0.024 para el valor P. siendo significativo. El R-cuad. (ajustado) fue de 92.58% lo que demuestra que no hubo factores intervinientes.

Tabla 6. Análisis de varianza para Dureza en la cocción de la quinua, utilizando SC ajustada para pruebas

F. de V.	G.L.	SC	M.C.	Fc	P
Tiempo	2	190.084	95.042	102.81	0.000**
variedad	1	0.980	0.980	1.06	0.323
Tiempo*variedad	2	9.613	4.807	5.20	0.024*
Error	12	11.093	0.924		
Total	17				

Para cada factor, tiempo de cocción y variedad de quinua se analizaron las interacciones en la dureza Figura 7, y se analizaron los efectos principales del diseño factorial Figura 8.

En la Figura 7 se observa que a un tiempo 3 que es de 120 minutos de cocción, la dureza es menor para la variedad 2 (Salcedo INIA), y la dureza máxima es de la variedad 2 (salcedo INIA) en el tiempo 1 (60 minutos). Se observa también que en el tiempo 2 (90 minutos) la variedad 1 (Blanca de Juli) es menor que la variedad salcedo INIA.

En la Figura 8 se aprecia los promedios de dureza en el lado izquierdo, siendo la menor dureza en el tiempo 3 (120 minutos) y la dureza máxima en el tiempo 1 (60 minutos). El lado derecho del gráfico presenta que en términos de variedad, indicado que la Variedad 1 (Blanca de Juli) presenta menor dureza con respecto a la variedad Salcedo INIA

Tian *et al.*, (2013) estudió el efecto del hidratado en la calidad del arroz cocinado, el cual menciona que a un mayor tiempo de remojo la dureza disminuye, además que aumenta la porosidad y afecta a las características morfológicas del arroz. Si bien la quinua no ha sido remojada, el tiempo de permanecer en cocción húmeda influye en la dureza de la quinua

cocida, es por lo que la quinua sometida a cocción durante 120 minutos temperaturas de 89 °C, tienen características de dureza menor respecto de las que fueron tratadas a 60 y 90 minutos en ambas variedades y a la misma temperatura.

Otro factor de dureza pareciera ser el contenido de proteína de ambas variedades, López, *et al.*, (2006), manifiesta que la pasta hecha solo con sémola presenta menor dureza que la pasta con 0.5-2% de proteína. En el trabajo realizado de cocción de quinua la variedad Salcedo INIA contiene mayor cantidad de proteína 16.32 que la variedad Blanca de Juli 12.89 (Mamani, 2006). El descenso brusco de dureza en la cocción a 120 minutos puede deberse a la desnaturalización de la proteína por el prolongado tiempo de cocción.

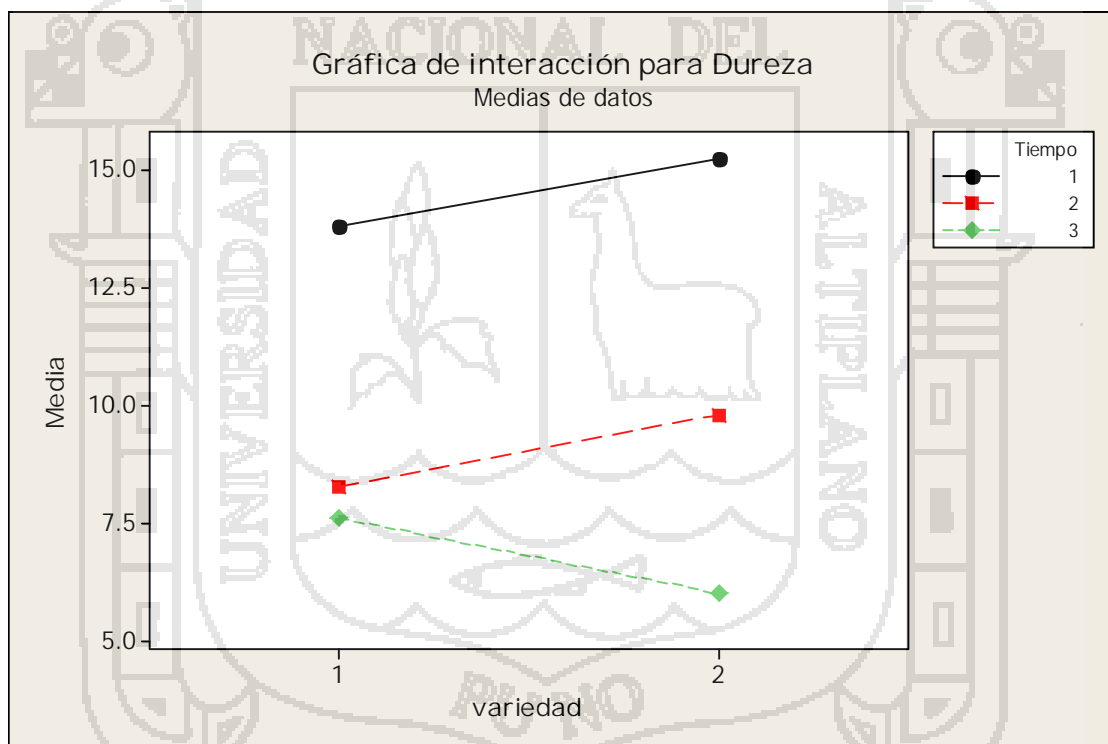


Figura 7. Interacción de los factores tiempo y variedad para la dureza

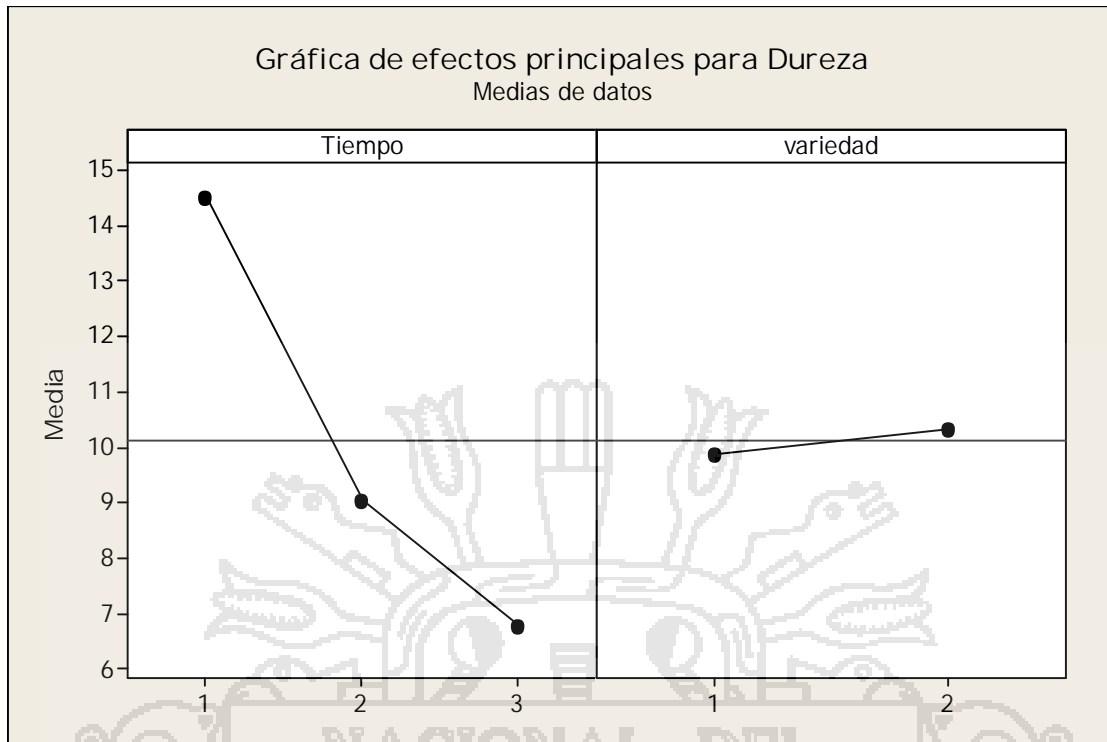


Figura 8. Efectos principales del diseño factorial 3x2.

#### 4.1.1.3 Prueba de significancia de Tukey para el tiempo de cocción

Tabla 7. ANOVA unidireccional: 60MIN, 90MIN, 120MIN

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	2	1.9008	0.9504	65.74	0.000 **
Error	15	0.2169	0.0145		
Total	17	2.1177			

Tabla 8. Prueba de comparación de Tukey para el tiempo de cocción

Nivel	N	Media	Desv.Est	Agrupación
60MIN	6	1.4533	0.0927	A
90MIN	6	0.9033	0.1483	B
120MIN	6	0.6800	0.1131	C

En la Tabla 8 se observa que las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. El tratamiento de 120 minutos obtuvo el menor valor de la media con respecto a los tratamientos de 60 y 90 minutos, lo que significa que presenta mejores características de dureza para la rehidratación, es decir presenta una menor dureza.

#### 4.1.2 Congelado

Después de la cocción de la quinua se procedió al congelado de todas las muestras con la finalidad de formación de cristales y el rompimiento celular. Orrego, (2008) señala que si la congelación es lenta el contenido de agua de las células en gran medida se pierde y las células resultan dañadas. Los cristales de hielo pueden llegar a ser tan grandes que incluso pueden romper las paredes de la célula. Posteriormente cuando se descongela el producto, este se destruye perdiendo una buena parte de agua en forma de “goteo”. El congelado se realizó a 18°C bajo cero por 72 horas considerando pruebas preliminares, ya que no se encontró información de congelado de quinua cocida. Jay, (2009) describe que la

congelación lenta para alimentos se alcanza en 3 a 72 horas. Es también otra razón por la que se congeló la quinua por 72 horas.

#### 4.1.3 Secado

Las muestras de quinua de ambas variedades, se sometieron a secado a 70°C por 8 horas.

Dando peso constante. La humedad y la actividad de agua del producto final se reportan en la Tabla 9.

Tabla 9. Humedad y actividad de agua en dos variedades de quinua cocidas deshidratadas.

Variedad	Humedad
Blanca de Juli	5.912 %
Salcedo INIA	2.553%

Los valores determinados para la humedad para la quinua deshidratada se encuentran dentro de los parámetros de productos deshidratados reconstituibles. Mendieta, (1991) indica que la humedad hallada para una sopa deshidratada quinua/pescado fue de 7.26%. sin embargo la NTP 209.260 (2004) establece que debe ser menor o igual a 5%.

Lo que indica que los datos obtenidos se encuentran dentro del rango medio, no así para la variedad Salcedo INIA que tiene una humedad inferior esta diferencia probablemente se deba a las características estructurales de la materia prima. Con respecto a la actividad de agua los valores obtenidos son adecuados para la conservación desde el punto de vista de actividad de agua, ya que a valores mayores a 0.5 son ideales para la actividad microbiana (hongos, levaduras y bacterias), rangos de entre 0.2 – 4, presentan en el producto

pardeamiento no enzimático y actividad enzimática, la oxidación de lípidos se efectúan a valores cercanos a cero y entre 0.4-0.6 como se indica en la figura 1 (Badui, 2006). Siendo el producto obtenido óptimo desde el punto de vista de la estabilidad teniendo en cuenta su actividad de agua se presume que se alcanza a esta actividad de agua debido al cambio microestructural de la quinua, ya que una de las dependencias de la actividad de agua es precisamente la microestructura de los alimentos.

## **4.2 Cinética de rehidratación de quinua deshidratada**

### **4.2.1 Cinética de Rehidratación (Tiempo vs Peso)**

En el Anexo 2 se reportan promedios de los datos de ganancia de peso en la rehidratación de granos de dos variedades de quinua. En las figuras 9, 10 y 11 se observan las comparaciones del aumento de peso tras la rehidratación, en dos variedades de quinua (Blanca de Juli y Salcedo INIA) sometidas a diferentes tiempos de cocción, en todos los casos la variedad blanca de Juli reporta mayor capacidad de rehidratación con respecto a la variedad Salcedo INIA. Se presume que la diferencia entre ambas variedades en la capacidad de rehidratación se debe a las características estructurales en la célula de cada variedad de quinua, ya que estas influyen en la capacidad de rehidratación el cual es reportado por Krokida y Marinos-Kouris (2003), Ramos *et al.*, (2003) y Lewicki *et al.*, (1997), los cuales, observaron que durante el secado se presenta una ruptura celular irreversible, resultando la pérdida de la integridad y, por lo tanto, una estructura densa de vasos capilares. También, Lewicki *et al.*, (1997); Marabi y Saguy,(2004). Manifiestan que los poros y la porosidad en sí, juegan un papel importante en el mecanismo de rehidratación (capilaridad, absorción, difusión)

En cuanto a la transferencia de materia ocurrida durante la rehidratación, se puede mencionar que el agua es absorbida más rápidamente al inicio del proceso en ambas

variedades que quinua, y luego disminuye gradualmente la absorción hasta que el contenido de humedad alcanza un equilibrio, es decir, que todos los espacios inter o intracelulares queden saturados con agua lo cual es corroborado por (Krokida y Marinos-Kouris, 2003), o con solución hidratante. De esta manera la absorción de agua por parte de los tejidos del alimento deshidratado aumenta sucesivamente el volumen del mismo, junto con una salida de los sólidos desde el interior de estos tejidos (Krokida y Marinos-Kouris, 2003).

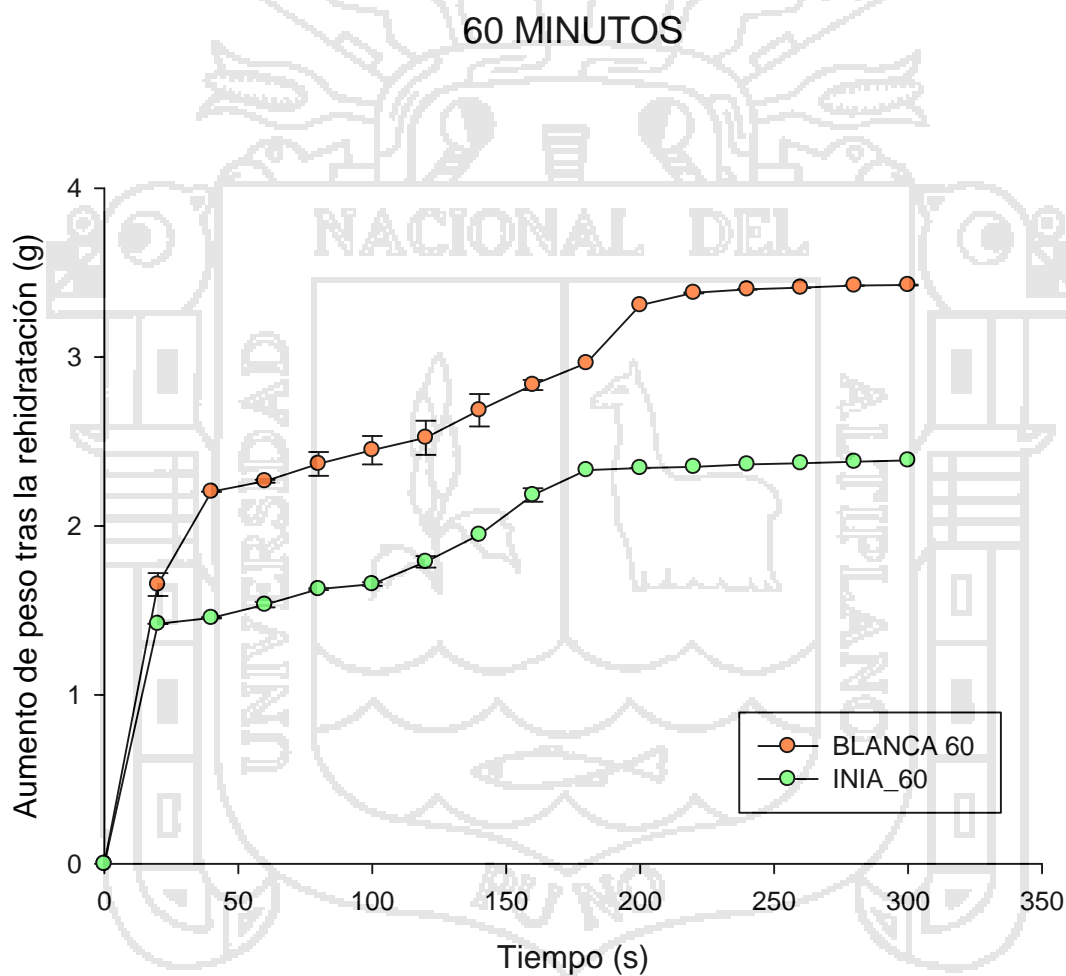


Figura 9. Curvas de rehidratación en dos variedades de quinua (Blanca de Juli y Salcedo INIA) sometidas a cocción por 60 minutos.



En la Figura 9 se observa el aumento de peso tras las la rehidratación en dos variedades de quinua, sometidas a cocción por 60 minutos, la variedad blanca de Juli presenta un aumento de peso mayor con respecto a la variedad Salcedo INIA.

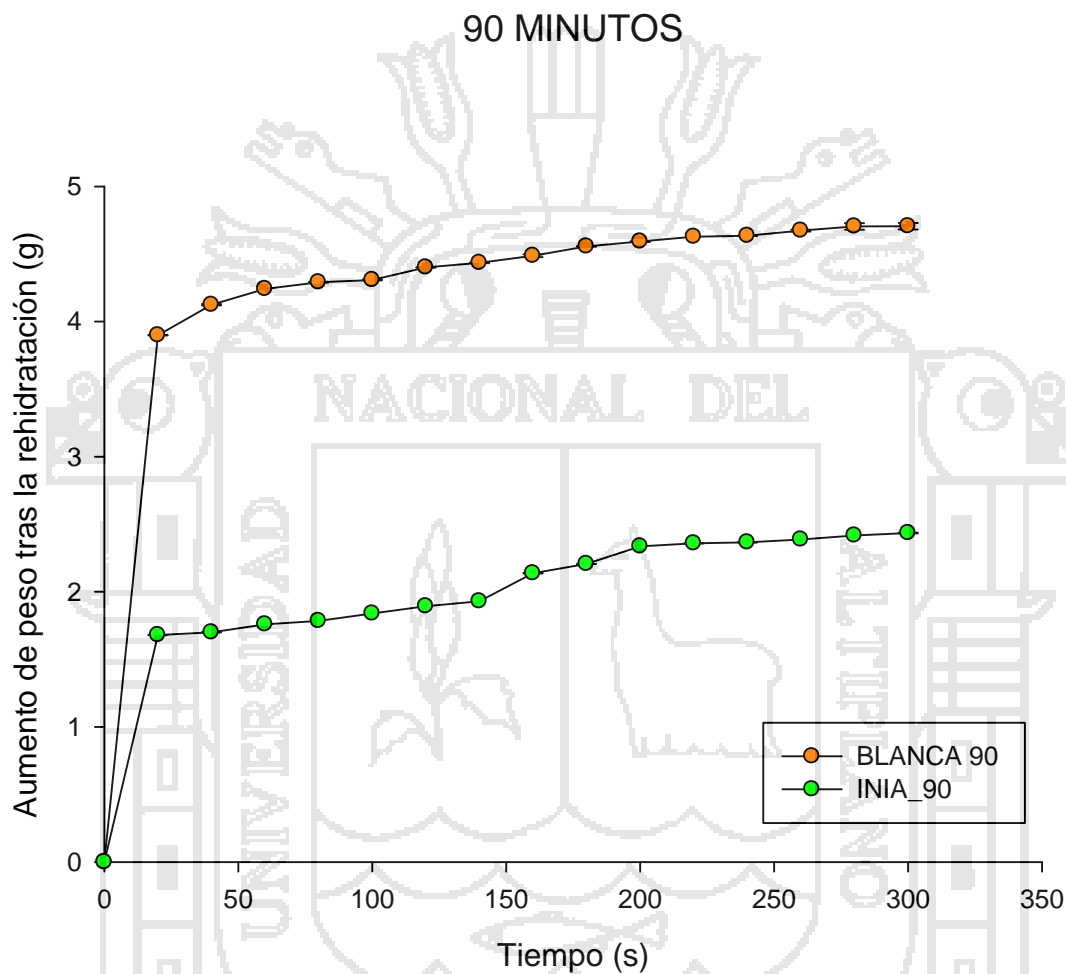


Figura 10. Curvas de rehidratación en dos variedades de quinua (Blanca de Juli y Salcedo INIA) sometidas a cocción por 90 minutos.

En la Figura 10 se observa el aumento de peso tras las la rehidratación en dos variedades de quinua, sometidas a cocción por 90 minutos, la variedad blanca de Juli presenta un aumento de peso mayor con respecto a la variedad Salcedo INIA.

## 120 MINUTOS

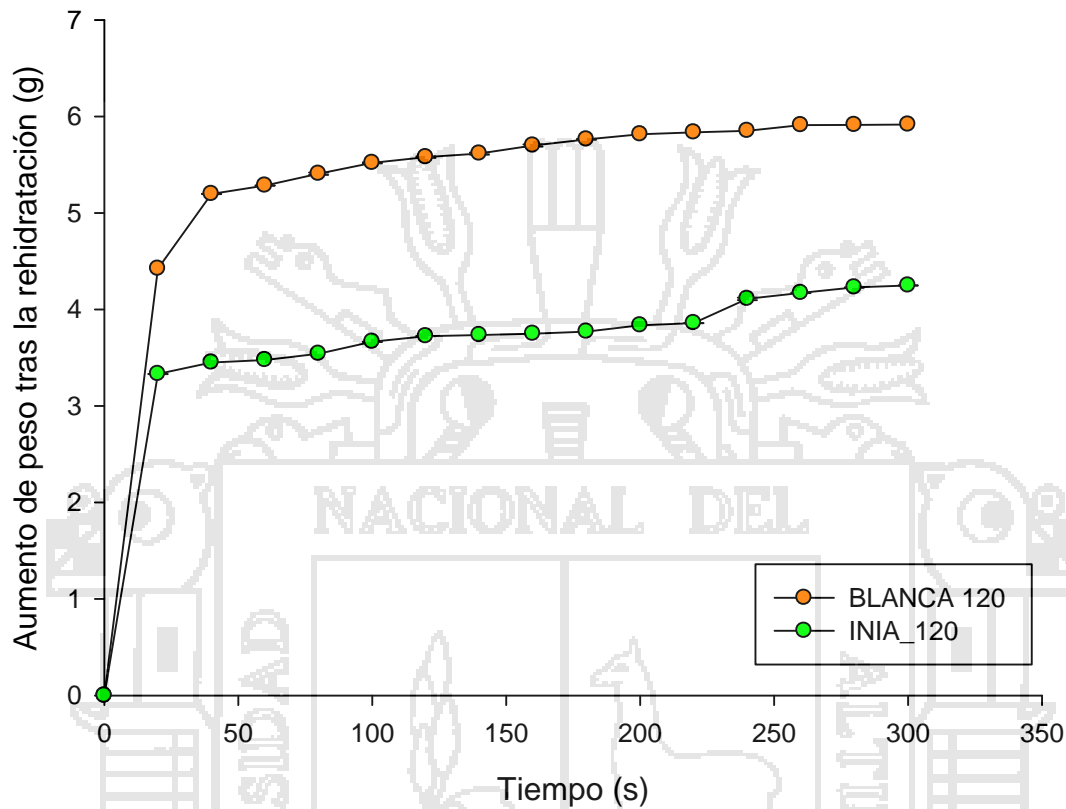


Figura 11. Curvas de rehidratación en dos variedades de quinua (Blanca de Juli y Salcedo INIA) sometidas a cocción por 120 minutos.

En la Figura 11 se observa el aumento de peso tras la rehidratación en dos variedades de quinua, sometidas a cocción por 120 minutos, la variedad blanca de Juli presenta un aumento de peso mayor con respecto a la variedad Salcedo INIA. Lewicki *et al.*, (1997). Señala que la capacidad de rehidratación está influenciada por las características estructurales de la célula, por lo que se presume que la variedad Blanca de Juli presenta mejores características estructurales para la rehidratación con respecto a la variedad Salcedo INIA.

#### 4.2.2 Cinética de Rehidratación de quinua variedad Blanca de Juli

Se graficaron las curvas de rehidratación a diferentes tiempos de cocción para la variedad Blanca de Juli. En la figura 12 se muestra las curvas de la cinética de rehidratación para la variedad Blanca de Juli, el cual fue previamente sometido a cocción por tres diferentes tiempos, 60, 90 y 120 minutos.

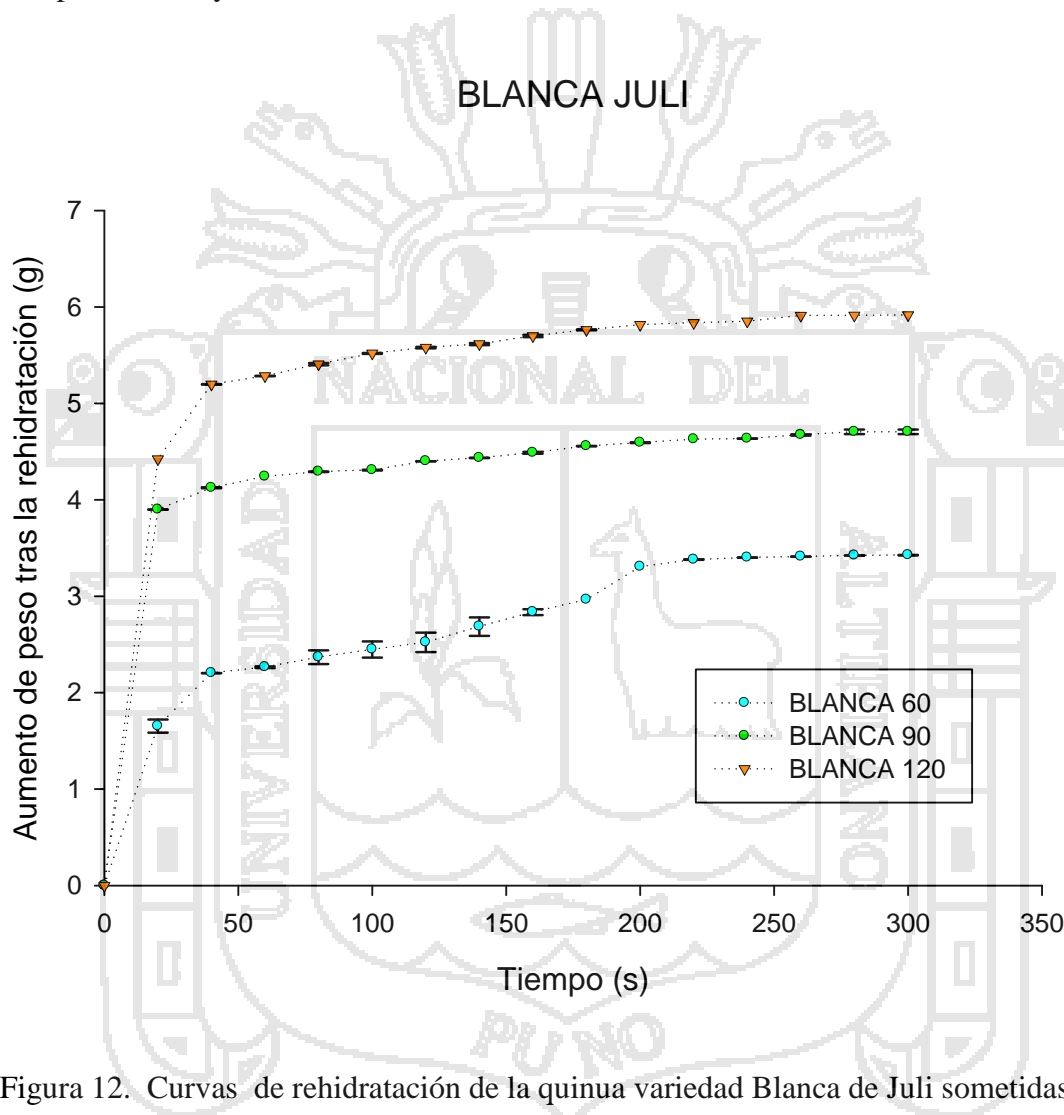


Figura 12. Curvas de rehidratación de la quinua variedad Blanca de Juli sometidas a diferentes tiempos de cocción (60, 90 y 120 minutos).

En la Figura 12 se observa que el tiempo de cocción, influye en la curva de rehidratación por lo tanto en la capacidad de rehidratación, siendo mayor cuanto más sea el tiempo de cocción, a si se observa que a un tiempo de 60 minutos los valores de rehidratación son

menores que los valores de rehidratación de la quinua sometida a 90 minutos y las cocinadas por 120 minutos presentan una curva con valores mayores a los que fueron cocinadas por 60 y 90 minutos. Esta consideración es corroborada por Sanjuan *et al.*, (2001) que manifiesta que la capacidad de rehidratación puede verse afectada por efecto del calor debido a la desnaturalización de proteínas. Se observa también que las curvas muestran un ascenso brusco en su primera etapa y terminando equilibrando al final de la rehidratación, lo mismo que es validado por Krokida y Marinos-Kouris, (2003) en un trabajo realizado sobre el estudio de la cinética de rehidratación de productos deshidratados.

#### 4.2.2.1 Ajuste al modelo de Peleg

Se graficaron las curvas del modelado de la cinética de rehidratación a diferentes tiempos de cocción para la variedad Blanca de Juli. En la Figura 13 se muestra las curvas de la cinética de rehidratación ajustado al modelo de Peleg para la variedad Blanca de Juli, el cual fue previamente sometido a cocción por 60 minutos. Se ajustó la curva al modelo de Peleg,  $f(x) = y_0 + \frac{x}{k_1 + k_2 * x}$  resultando el ajuste, con los siguientes datos, el coeficiente de regresión (con un 95% de límite de confianza), siendo los valores de las constantes obtenidos con el programa MATLAB 2013 las siguientes:  $k_1 = 11.49$ ,  $k_2 = 0.2762$  y para  $y_0 = 0.1497$ . La constante  $k_1$  está relacionada con la transferencia de masa desde el principio del proceso de rehidratación y la constante  $k_2$  es la constante relacionada con la capacidad máxima de absorción de agua de la quinua deshidratada para un  $y_0$  el cual simula el contenido de humedad en un tiempo cero. Se obtuvo también la bondad de ajuste para la curva: Suma de cuadrados debido al error (SSE=0.6496), R-cuadrado= 0.9456, R-cuadrado ajustado=0.9372 y el Error estándar de la estimación

(RMSE=0.2235). El coeficiente de correlación indica que el ajuste es bueno lo que es confirmado por el error estándar de estimación el cual es cercano a cero.

### BLANCA DE JULI 60 min

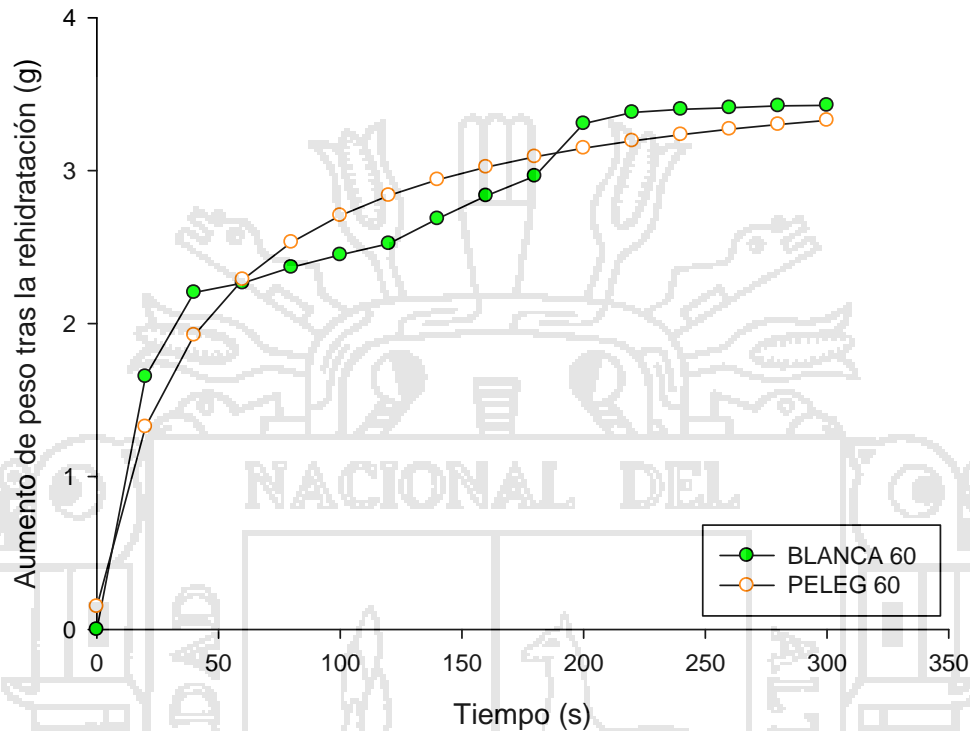


Figura 13. Modelado de la curva de rehidratación de la quinua variedad Blanca de Juli con el modelo de Peleg para un tiempo de cocción de 60 minutos.

En la Figura 14 se muestra las curvas de la cinética de rehidratación ajustado al modelo de Peleg para la variedad Blanca de Juli, sometida a cocción por 90 minutos, previo al secado. El ajuste al modelo de Peleg,  $f(x) = y_0 + (x / (k_1 + k_2 * x))$  con un 95% de límite de confianza, siendo los valores de las constantes obtenidos con el programa MATLAB 2013 las siguientes:

$k_1 = 1.031$  ,  $k_2 = 0.2143$  y para  $y_0 = 0.0033$ . La constante  $k_1$  está relacionada con la transferencia de masa desde el principio del proceso de rehidratación y la constante  $k_2$  es la constante relacionada con la capacidad máxima de absorción de agua de la quinua

deshidratada para un  $y_0$  el cual simula el contenido de humedad en un tiempo cero. Se obtuvo también la bondad de ajuste para la curva: Suma de cuadrados debido al error (SSE=0.1181), R-cuadrado= 0.9939, R-cuadrado ajustado=0.9929 y el Error estándar de la estimación (RMSE=0.0953). Se pueden inferir por estos datos que el ajuste al modelo de Peleg es válida ya que presenta un RMSE cercano a cero.

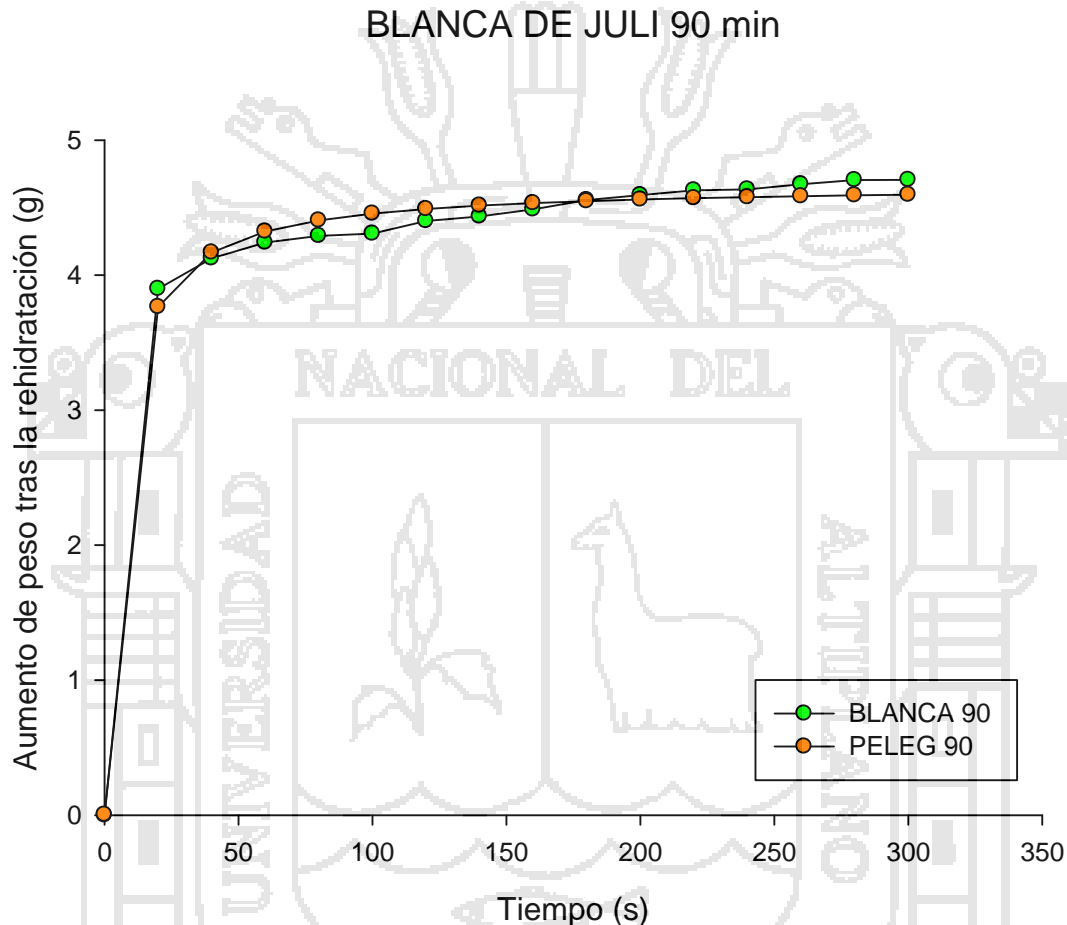


Figura 14. Modelado de la curva de rehidratación de la quinua variedad Blanca de Juli con el modelo de Peleg para un tiempo de cocción de 90 minutos.

La cinética de rehidratación para la variedad Blanca de Juli sometida a cocción por 120 minutos y el ajuste de curva al modelo de Peleg se presenta en la Figura 15. Obteniendo los siguientes resultados:

$k_1 = 1.211$ ,  $k_2 = 0.1668$  y para  $y_0 = 0.002342$ . La constante  $k_1$  está relacionada con la transferencia de masa desde el principio del proceso de rehidratación y la constante  $k_2$  es la constante relacionada con la capacidad máxima de absorción de agua de la quinua deshidratada para un  $y_0$  el cual simula el contenido de humedad en un tiempo cero. Se obtuvo también la bondad de ajuste para la curva: Suma de cuadrados debido al error (SSE=0.0642), R-cuadrado= 0.998, R-cuadrado ajustado=0.9976 y el Error estándar de la estimación (RMSE=0.07031). Los datos reportados manifiestan un buen ajuste, y aun mejor que los reportados a 60 y 90 minutos de cocción.

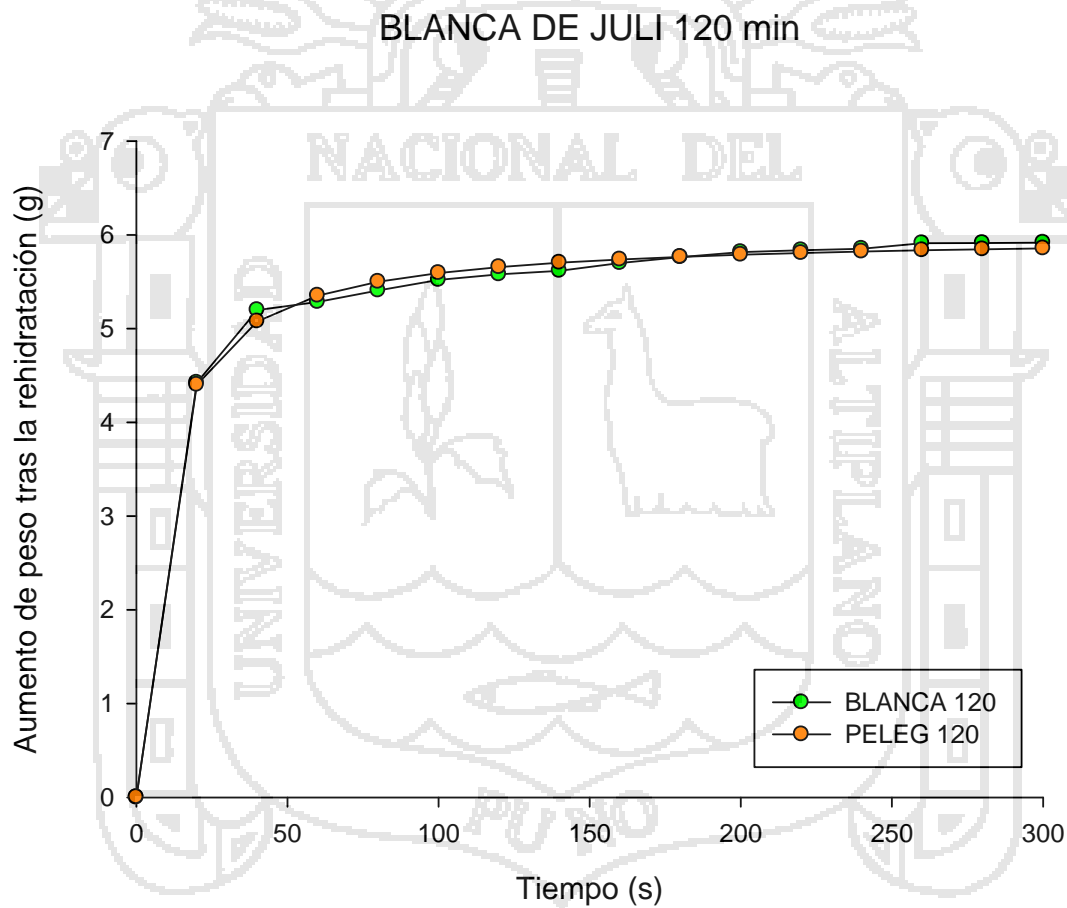


Figura 15. Modelado de la curva de rehidratación de la quinua variedad Blanca de Juli con el modelo de Peleg para un tiempo de cocción de 120 minutos.

#### 4.2.2.2 Ajuste al modelo de Langmuir

Se modelaron las curvas de la cinética de rehidratación a diferentes tiempos de cocción para la variedad Blanca de Juli ajustando las curvas al modelo de Langmuir. En la Figura 16 se muestra la cinética de rehidratación de la quinua variedad Blanca de Juli sometida a cocción a un tiempo de 60 minutos y el modelo propuesto por Lagmuir, el cual está definida por:  $f(x) = (c*x/(k+x))$  siendo los valores de las constantes  $C = 3.721$  y  $k = 36.76$ . La constante  $C$  sería la masa relativa en equilibrio el cual depende de las características propias del tejido, La constante  $k$ , es un parámetro cinético relacionado con la resistencia que opone el tejido a la rehidratación y equivale al tiempo necesario para alcanzar el 50% del peso adimensional en equilibrio, no se encontró reporte alguno en bibliografía por tratarse de un trabajo inédito para la quinua en este modelo, los datos de la bondad de ajuste para este modelo fueron: Suma de cuadrados debido al error (SSE=0.6702), R-cuadrado= 0.9439, R-cuadrado ajustado=0.9399 y el Error estándar de la estimación (RMSE=0.2188). El ajuste realizado con el modelo de Langmuir presentó unos datos de R-cuadrado cercano a uno, el indica que es un buen ajuste y que es confirmado por el valor de RMSE que es cercano a cero.

En la Figura 17 se muestra las curvas de la cinética de rehidratación ajustado al modelo de Langmuir para la variedad Blanca de Juli, sometida a cocción por 90 minutos, previo al secado. El ajuste al modelo de Langmuir:  $f(x) = (c*x/(k+x))$  con un límite de confianza del 95% dio como resultado los siguientes valores de las constantes  $C = 4.669$  y  $k = 4.807$ . La constante  $C$  sería la masa relativa en equilibrio el cual depende de las características propias del tejido, La constante  $k$ , es un parámetro cinético relacionado con la resistencia que opone el tejido a la rehidratación y equivale al tiempo necesario para alcanzar el 50% del peso adimensional en equilibrio, Donde la contante  $C$  es mayor que la



curva ajustada para la quinua sometida a 60 minutos de cocción, esto es debido a las características del tejido de la quinua sometida a diferentes tiempos de cocción (Vega, 2003: citado por Marin *et al.*,2006) la constante  $k$  es menor que la obtenida en el tratamiento de cocción de quinua a 60 minutos, el mismo que confirma que el tiempo en alcanzar el equilibrio es menor en comparación con la quinua sometida a 60 minutos de cocción los datos de la bondad de ajuste para este modelo fueron: Suma de cuadrados debido al error ( $SSE=0.1181$ ),  $R$ -cuadrado= 0.9939,  $R$ -cuadrado ajustado=0.9934 y el Error estándar de la estimación ( $RMSE=0.09183$ ).

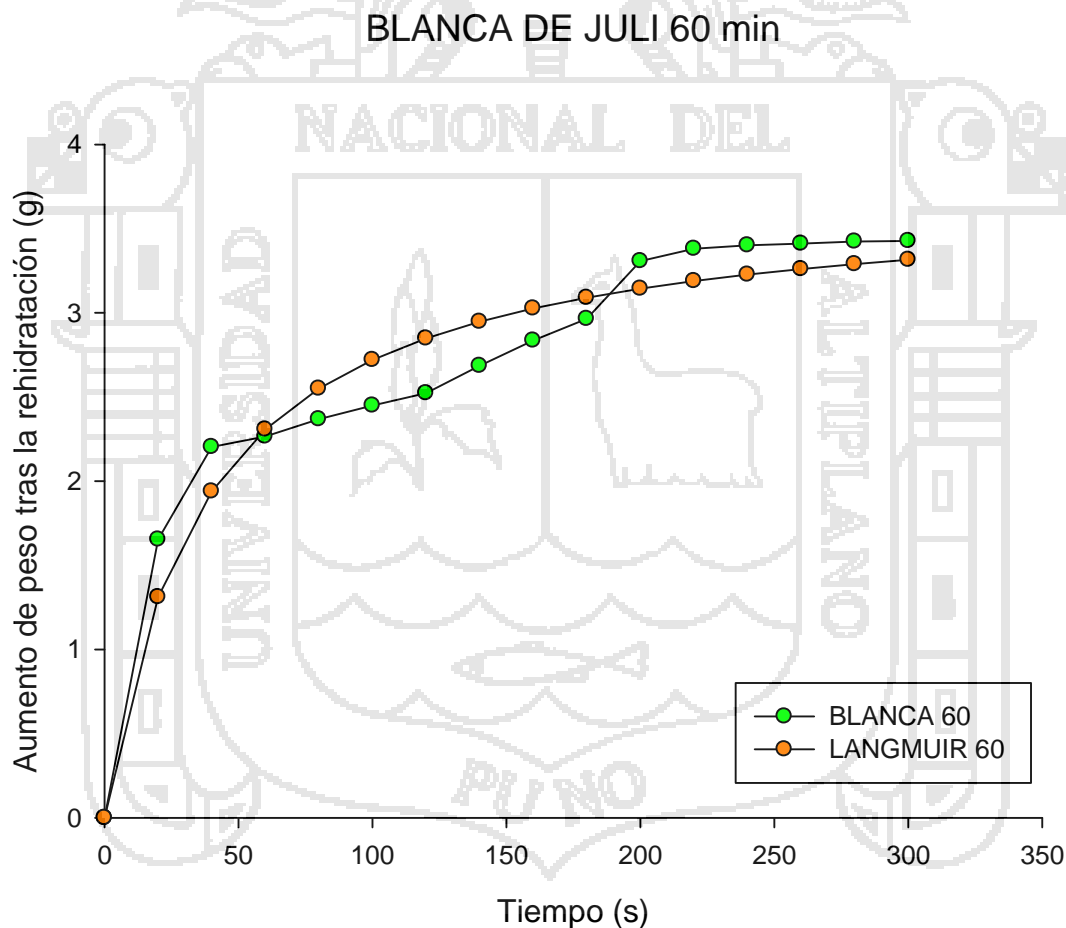


Figura 16. Modelado de la curva de rehidratación de la quinua variedad Blanca de Juli con el modelo de Langmuir para un tiempo de cocción de 60 minutos.

## BLANCA DE JULI 90 min

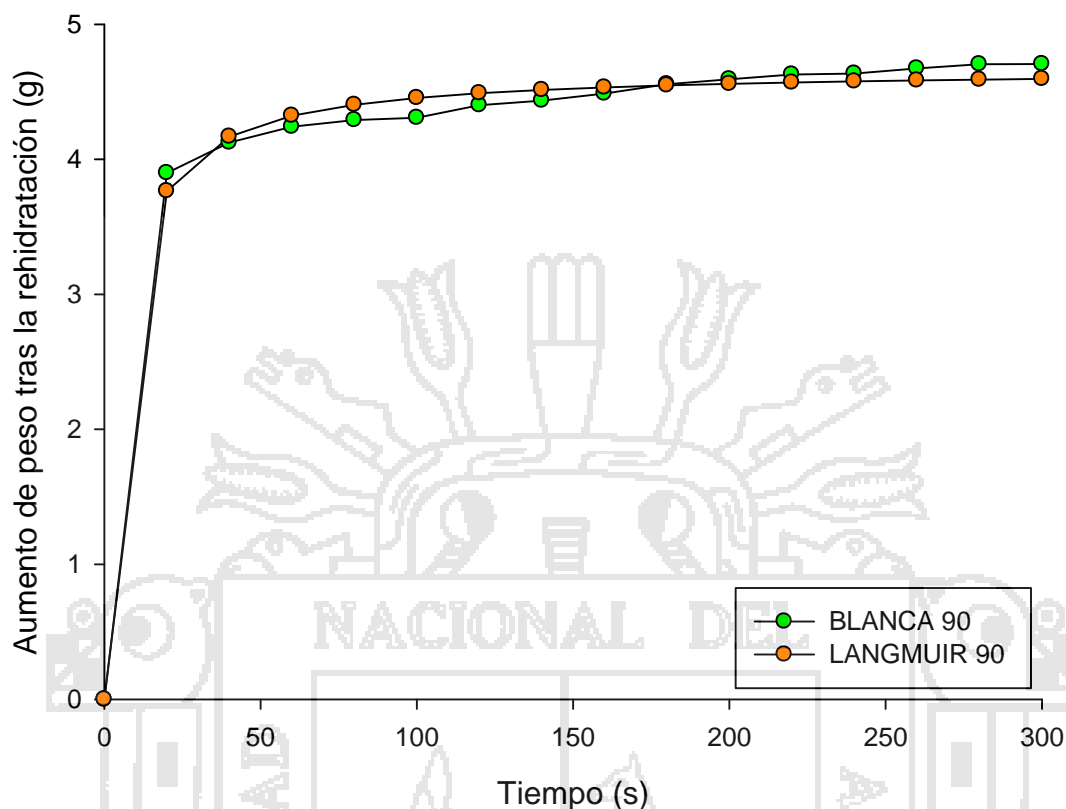


Figura 17. Modelado de la curva de rehidratación de la quinua variedad Blanca de Juli con el modelo de Langmuir para un tiempo de cocción de 90 minutos.

La cinética de rehidratación para la variedad Blanca de juli sometida a cocción por 120 minutos y el ajuste de curva al modelo de Langmuir  $f(x) = (C \cdot x / (k + x))$ , se presenta en la Figura 18. Obteniendo los siguientes resultados: con un límite de confianza del 95%.  $C = 5.997$  y  $k = 7.254$ , La constante  $C$  sería la masa relativa en equilibrio el cual depende de las características propias del tejido, La constante  $k$ , es un parámetro cinético relacionado con la resistencia que opone el tejido a la rehidratación y equivale al tiempo necesario para alcanzar el 50% del peso adimensional en equilibrio, los datos de la bondad de ajuste para este modelo fueron: Suma de cuadrados debido al error ( $SSE=0.0642$ ),  $R$ -cuadrado= 0.998,  $R$ -cuadrado ajustado=0.9978 y el Error estándar de la estimación

(RMSE=0.0677). Los datos del ajuste muestran que la cinética de rehidratación al modelo de Langmuir ya que presenta valores de RMSE cercanos a cero y un R-cuadrado cercano a uno, o al 100%.

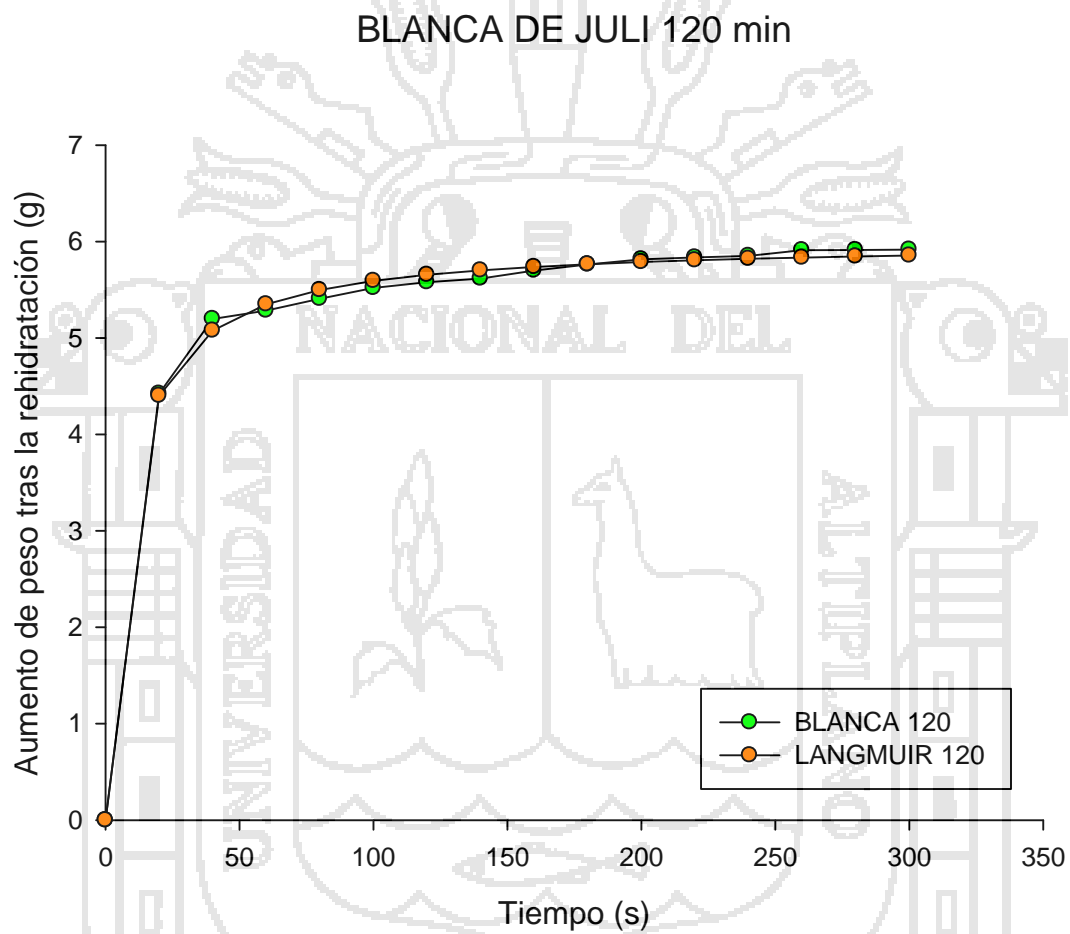


Figura 18. Modelado de la curva de rehidratación de la quinua variedad Blanca de Juli con el modelo de Langmuir para un tiempo de cocción de 120 minutos.

## BLANCA DE JULI

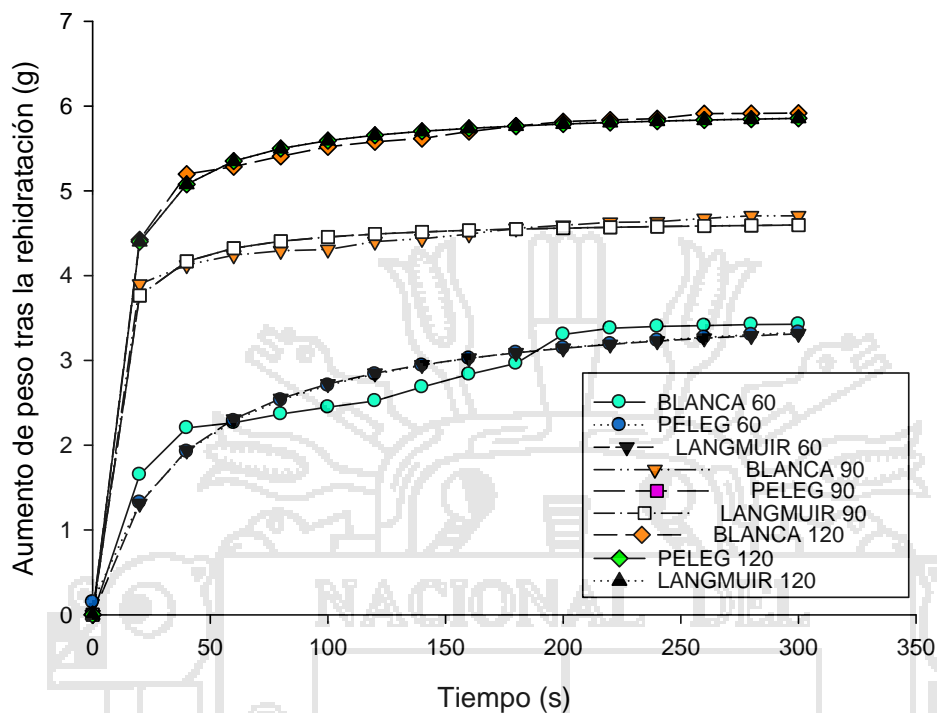


Figura 19. Modelado de la curva de rehidratación de la quinua variedad Blanca de Juli con los modelos de Peleg y Langmuir a diferentes tiempos de cocción (60, 90 y 120 minutos).

#### 4.2.3 Cinética de Rehidratación de quinua variedad Salcedo INIA

En la Figura 20 se presentan las curvas de rehidratación de la quinua variedad Salcedo INIA sometidas a tratamientos de cocción de 60, 90, 120 minutos. Krokida y Marinos-Kouris, (2003) señala que la transferencia de materia ocurrida durante la rehidratación, se puede mencionar que el agua es absorbida más rápidamente al inicio del proceso y luego disminuye gradualmente la absorción hasta que el contenido de humedad alcanza un equilibrio, es decir, que todos los espacios inter o intracelulares queden saturados con agua. En la figura 20 se puede observar que en un tiempo de 20 segundos el aumento de peso por absorción de agua es brusco y queda saturada a un tiempo de 300 segundos.

## SALCEDO INIA

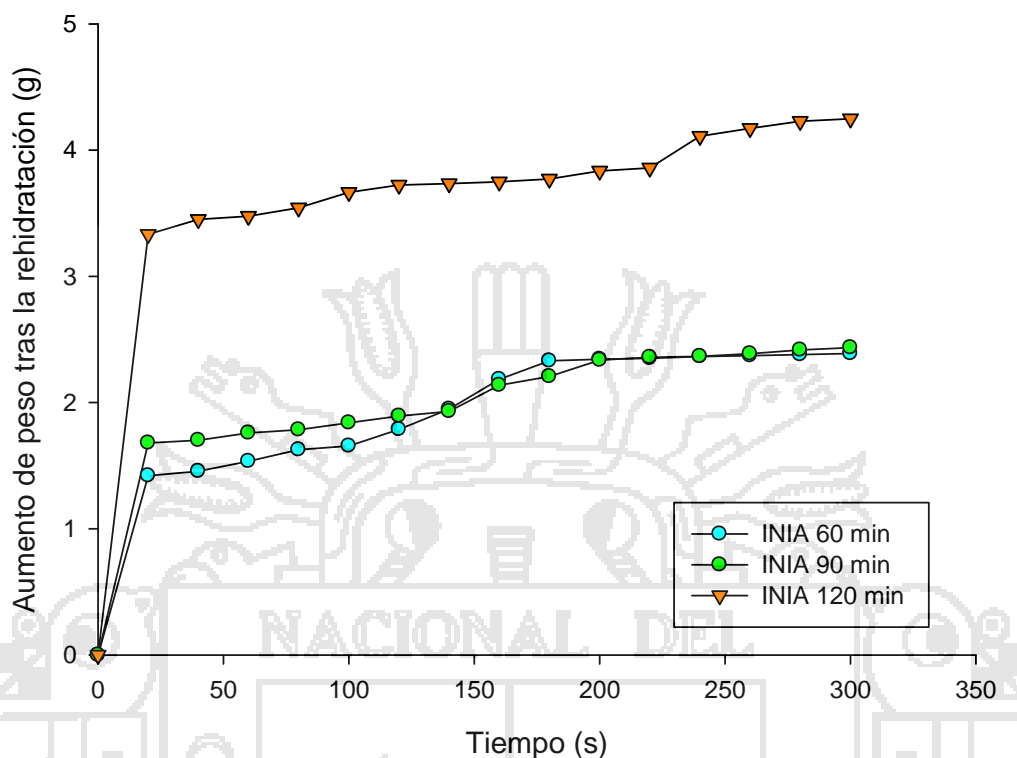


Figura 20. Curvas de rehidratación de la quinua variedad Salcedo INIA sometidas a diferentes tiempos de cocción (60, 90 y 120 minutos).

#### 4.2.3.1 Ajuste al modelo de Peleg

Se graficaron las curvas del modelado de la cinética de rehidratación a diferentes tiempos de cocción de quinua para la variedad Salcedo INIA. En la Figura 21 se muestra las curvas de la cinética de rehidratación ajustado al modelo de Peleg para la variedad Salcedo INIA, el cual fue previamente sometido a cocción por 60 minutos. Se ajustó la curva al modelo de Peleg,  $f(x) = y_0 + (x / (k_1 + k_2 * x))$  resultando el ajuste, con los siguientes datos, el coeficiente de regresión (con un 95% de límite de confianza), siendo los valores de las constantes obtenidos con el programa MATLAB 2013 las siguientes:  $k_1 = 16.18$ ,  $k_2 = 0.3991$  y para  $y_0 = 0.1476$ . La constante  $k_1$  está relacionada con la transferencia de masa

desde el principio del proceso de rehidratación y la constante  $k_2$  es la constante relacionada con la capacidad máxima de absorción de agua de la quinua deshidratada para un  $y_0$  el cual simula el contenido de humedad en un tiempo cero. Se obtuvo también la bondad de ajuste para la curva: Suma de cuadrados debido al error (SSE=0.4718), R-cuadrado= 0.9199, R-cuadrado ajustado=0.9076 y el Error estándar de la estimación (RMSE=0.1905).

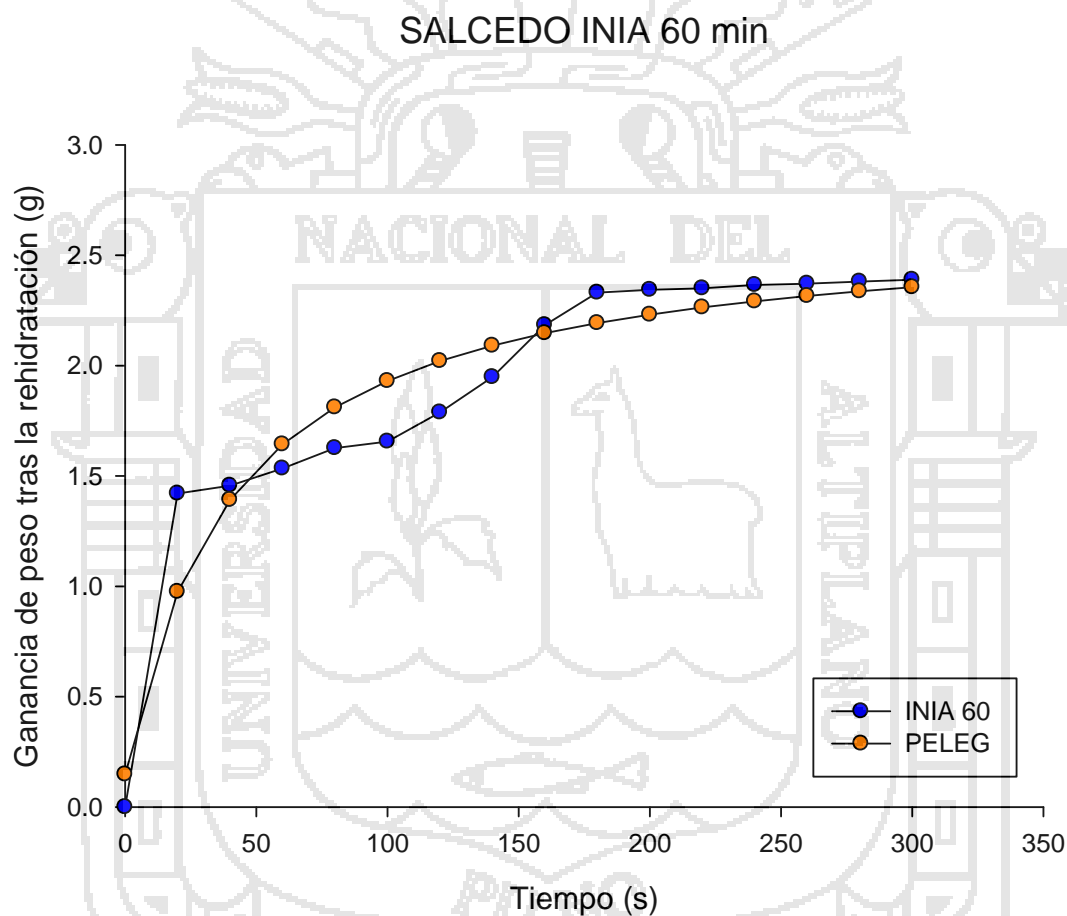


Figura 21. Modelado de la curva de rehidratación de la quinua variedad Salcedo INIA con el modelo de Peleg para un tiempo de cocción de 60 minutos.

En la Figura 22 se muestra las curvas de la cinética de rehidratación ajustado al modelo de Peleg para la variedad Salcedo INIA, sometida a cocción por 90 minutos, previo al secado. El ajuste al modelo de Peleg,  $f(x) = y_0 + (x / (k_1 + k_2 * x))$  dio como resultado los

siguientes datos, el coeficiente de regresión (con un 95% de límite de confianza), siendo los valores de las constantes obtenidos con el programa MATLAB 2013 las siguientes:

$k_1 = 7.114$  ,  $k_2 = 0.4249$  y para  $y_0 = 0.05094$ . La constante  $k_1$  está relacionada con la transferencia de masa desde el principio del proceso de rehidratación y la constante  $k_2$  es la constante relacionada con la capacidad máxima de absorción de agua de la quinua deshidratada para un  $y_0$  el cual simula el contenido de humedad en un tiempo cero. Se obtuvo también la bondad de ajuste para la curva: Suma de cuadrados debido al error (SSE=0.441), R-cuadrado= 0.916, R-cuadrado ajustado=0.9031 y el Error estándar de la estimación (RMSE=0.1842).

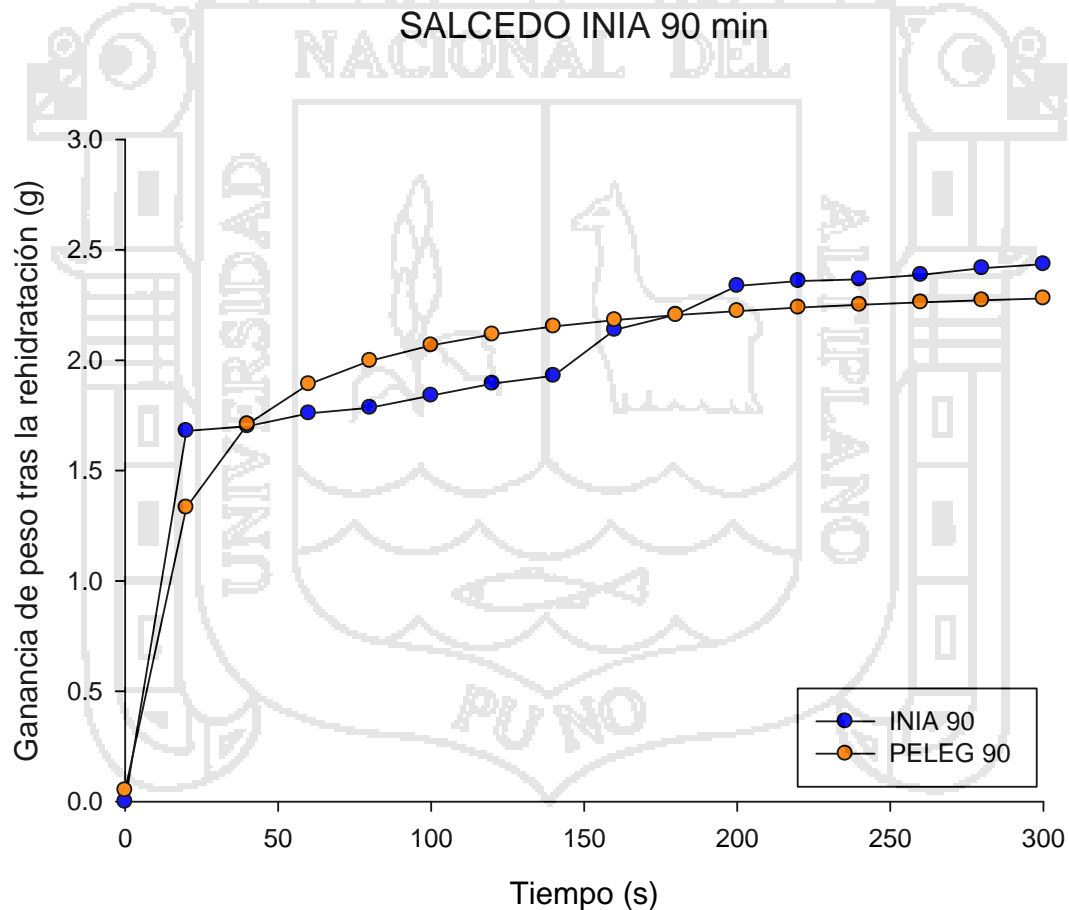


Figura 22. Modelado de la curva de rehidratación de la quinua variedad Salcedo INIA con el modelo de Peleg para un tiempo de cocción de 90 minutos.

La cinética de rehidratación para la variedad Salcedo INIA sometida a cocción por 120 minutos y el ajuste de curva al modelo de Peleg se presentan en la figura 20. Obteniendo como resultados:  $k_1 = 1.526$ ,  $k_2 = 0.2485$  y para  $y_0 = 0.009121$ . La constante  $k_1$  está relacionada con la transferencia de masa desde el principio del proceso de rehidratación y la constante  $k_2$  es la constante relacionada con la capacidad máxima de absorción de agua de la quinua deshidratada para un  $y_0$  el cual simula el contenido de humedad en un tiempo cero. Se obtuvo también la bondad de ajuste para la curva: Suma de cuadrados debido al error ( $SSE=0.4827$ ), R-cuadrado= 0.9671, R-cuadrado ajustado=0.962 y el Error estándar de la estimación ( $RMSE=0.1927$ ).

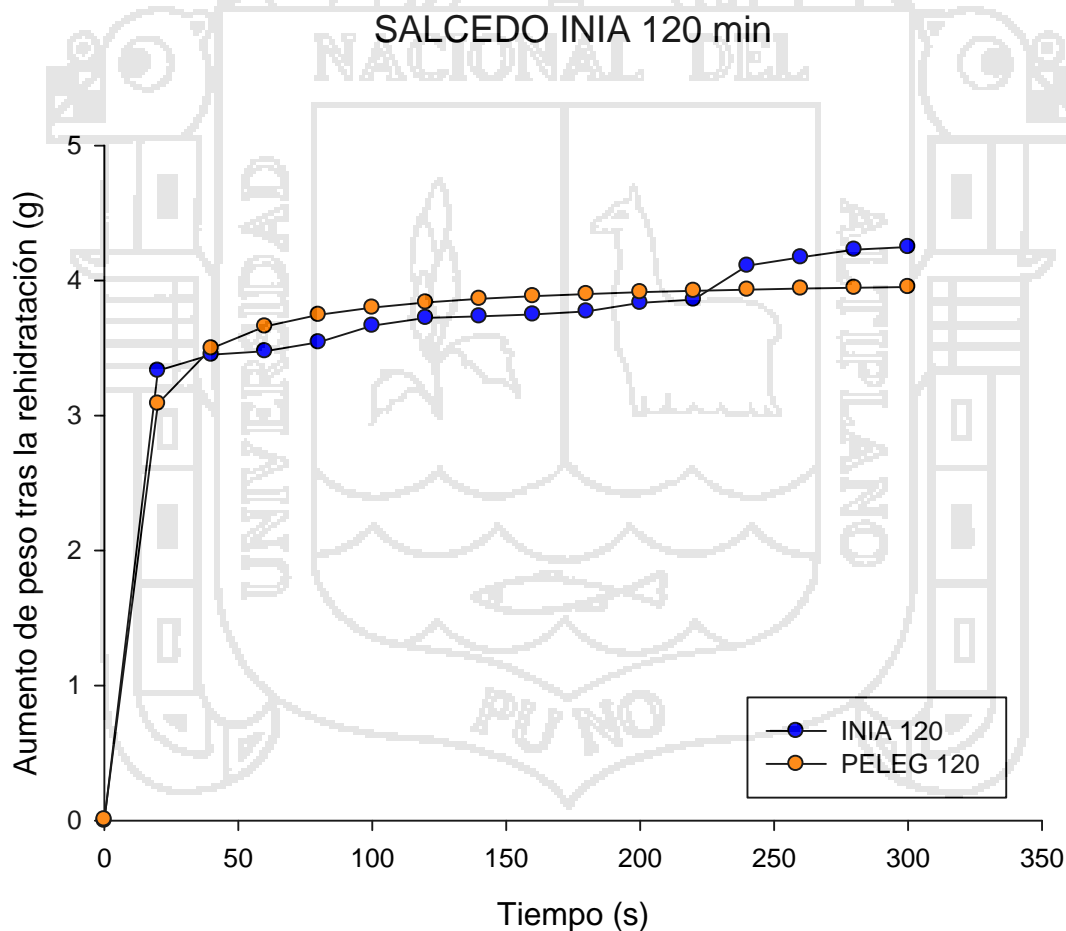


Figura 23. Modelado de la curva de rehidratación de la quinua variedad Salcedo INIA con el modelo de Peleg para un tiempo de cocción de 120 minutos.



En las Figuras 13-15 y 21-23 se observa el ajuste al modelo de Peleg, los datos de R-cuadrado están en el rango de 0.919 y 0.998 y RMSE entre 0.0677 y 0.2235. no se encontraron estos datos en bibliografía para la quinua, sin embargo Muñoz *et al.*, (2012), reporta que el R-cuadrado para carne deshidratada fue de 0.99 y el RMSE de 0.023. estos datos validan el modelo de Peleg.

#### 4.2.3.2 Ajuste al modelo de Langmuir

Se modelaron las curvas de la cinética de rehidratación a diferentes tiempos de cocción para la variedad Salcedo INIA ajustando las curvas al modelo de Langmuir. En la Figura 24 se muestra la cinética de rehidratación de la quinua variedad Salcedo INIA sometida a un tiempo de cocción de 60 minutos y el modelo propuesto por Langmuir, el cual está definida por:  $f(x) = (c*x/(k+x))$  siendo los valores de las constantes  $C = 2.602$  y  $k = 33.74$ . La constante C sería la masa relativa en equilibrio el cual depende de las características propias del tejido, La constante k, es un parámetro cinético relacionado con la resistencia que opone el tejido a la rehidratación y equivale al tiempo necesario para alcanzar el 50% del peso adimensional en equilibrio. Los datos de la bondad de ajusta para este modelo fueron: Suma de cuadrados debido al error (SSE=0.4908), R-cuadrado= 0.9166, R-cuadrado ajustado=0.9107 y el Error estándar de la estimación (RMSE=0.1872). Estos datos demuestran que la quinua variedad Salcedo INIA sometida a cocción por 60 minutos presentan un ajuste adecuado por presentara un valor de RMSE cercano a cero y corroborada por el valor de R-cuadrado cercano a uno o un 100%.

## SALCEDO INIA 60 min

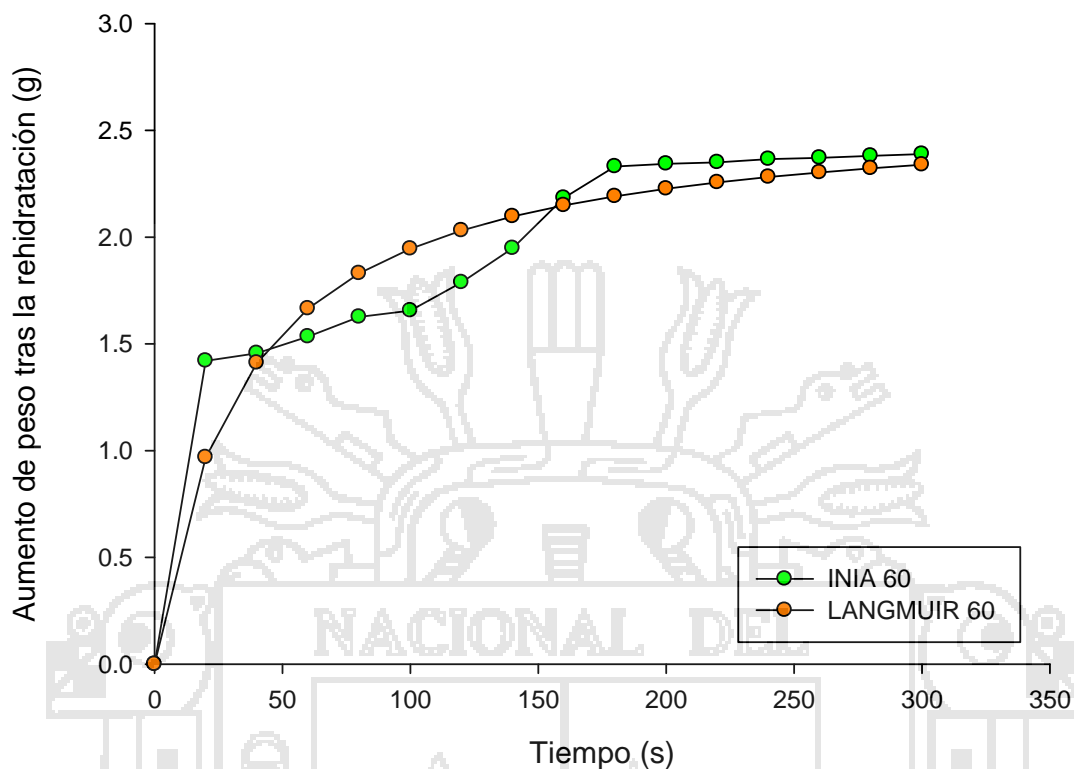


Figura 24. Modelado de la curva de rehidratación de la quinua variedad Salcedo INIA con el modelo de Langmuir para un tiempo de cocción de 60 minutos.

En la Figura 25 se muestra las curvas de la cinética de rehidratación ajustado al modelo de Langmuir para la variedad Salcedo INIA, sometida a cocción por 90 minutos, previo al secado. El ajuste al modelo de Langmuir:  $f(x) = \frac{c \cdot x}{k + x}$  con un límite de confianza del 95% dio como resultado los siguientes valores de las constantes  $C = 4.669$  y  $k = 4.807$ , los datos de la bondad de ajuste para este modelo fueron: Suma de cuadrados debido al error (SSE=0.1181), R-cuadrado= 0.9939, R-cuadrado ajustado=0.9934 y el Error estándar de la estimación (RMSE=0.09183).

## SALCEDO INIA 90 min

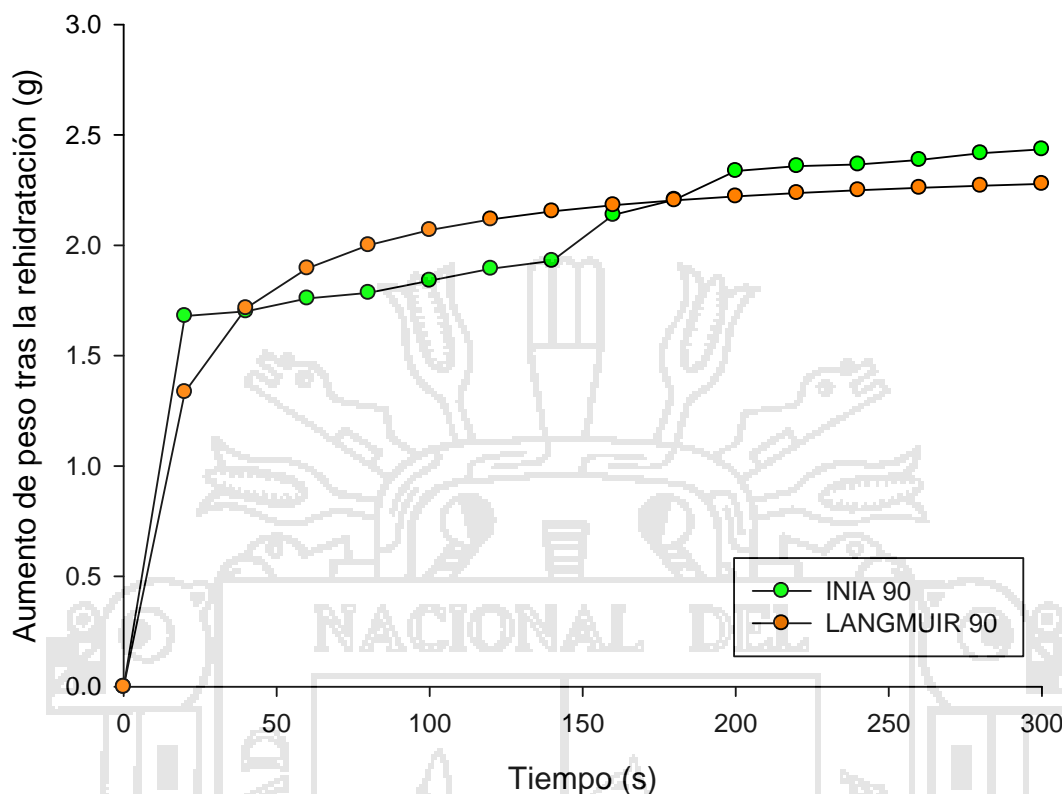


Figura 25. Modelado de la curva de rehidratación de la quinua variedad Salcedo INIA con el modelo de Langmuir para un tiempo de cocción de 90 minutos.

La ganancia de peso durante la rehidratación se presenta en la Figuras 12 y 20, donde se observa el comportamiento de la ganancia de peso para ambas variedades de quinua deshidratada al transcurrir el tiempo, este es de forma ascendente, lo que es corroborado por Jiao *et al.*, (2013) que realizó un estudio de la cinética de rehidratación del arroz el cual manifiesta que las curvas de toma de agua para el arroz instantáneo secado bajo diferentes condiciones muestran un aumento de peso tras la rehidratación, la cantidad de humedad absorbida aumenta conforme transcurre el tiempo de rehidratación, pero a una tasa decreciente hasta un valor asintótico. La estabilización de la rehidratación varió de 3 min (para secado en microondas a 560 W,  $T = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) a 15 min (por microondas = 0 W,  $T = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y la ganancia de agua durante la rehidratación (capacidad de Rehidratación fue de de

alrededor de 2,5 bajo varias condiciones de secado. En el anexo 3 se detalla la ganancia de peso para cada variedad con tres replicas.

Jiao *et al.*, (2013) manifiesta que el aumento de peso en la rehidratación aumenta a medida que el tiempo de rehidratación se incrementa hasta alcanzar un peso constante, esta característica se presenta en variedad de alimentos deshidratados reportados (Krokida y Marinos, 2002). En el anexo 2 y 4 se puede observar que la ganancia de peso brusco en los primeros 20 segundos, respecto a tiempos posteriores, observándose claramente que la quinua variedad blanca de juli cocida durante 120 minutos se rehidrata más rápidamente en comparación con los demás tratamientos de tiempo de cocción y la variedad Salcedo INIA, en ambos casos alcanzan peso constantes a partir de los 300 segundos, a partir de este tiempo sigue una línea asintótica.

En la Figura 14 se hizo el modelado cinético para la rehidratación de la quinua variedad Blanca de Juli, se estimaron los parámetros de la curva y los datos próximos son con las coccionadas por 90 minutos, se hizo el ajuste a los modelos de Peleg,  $f(x) = y_0 + (x / (k_1 + k_2 * x))$  resultando el ajuste, con los siguientes datos, el coeficiente de regresión (con un 95% de límite de confianza), siendo los valores de las constantes obtenidos con el programa MATLAB 2013 las siguientes:  $k_1 = 1.031$ ,  $k_2 = 0.2143$  y para  $y_0 = 0.003322$ . Se obtuvo también la bondad de ajuste para la curva: Suma de cuadrados debido al error (SSE=0.1181), R-cuadrado= 0.9939, R-cuadrado ajustado=0.9929 y el Error estándar de la estimación (RMSE=0.0953). El modelo propuesto por Lagmuir, definida por:  $f(x) = (c * x / (k + x))$  siendo los valores de las constantes  $c = 4.669$  y  $k = 4.807$ , los datos de la bondad de ajuste para este modelo fueron: Suma de cuadrados debido al error (SSE=0.1181), R-cuadrado= 0.9939, R-cuadrado ajustado=0.9934 y el Error estándar de la estimación (RMSE=0.09183), siendo este último el que mejor se ajusta a la cinética de rehidratación a un tiempo de cocción de 90 minutos. Esto se deduce por el valor RMSE, el

mismo que es menor con respecto a Peleg y el R-cuadrado ajustado es mayor. Por otro lado la cinética de rehidratación para la variedad Salcedo INIA no tuvo mayor aproximación con los modelos de cinética establecidos, esto se debe a la poca capacidad de rehidratación de esta variedad.

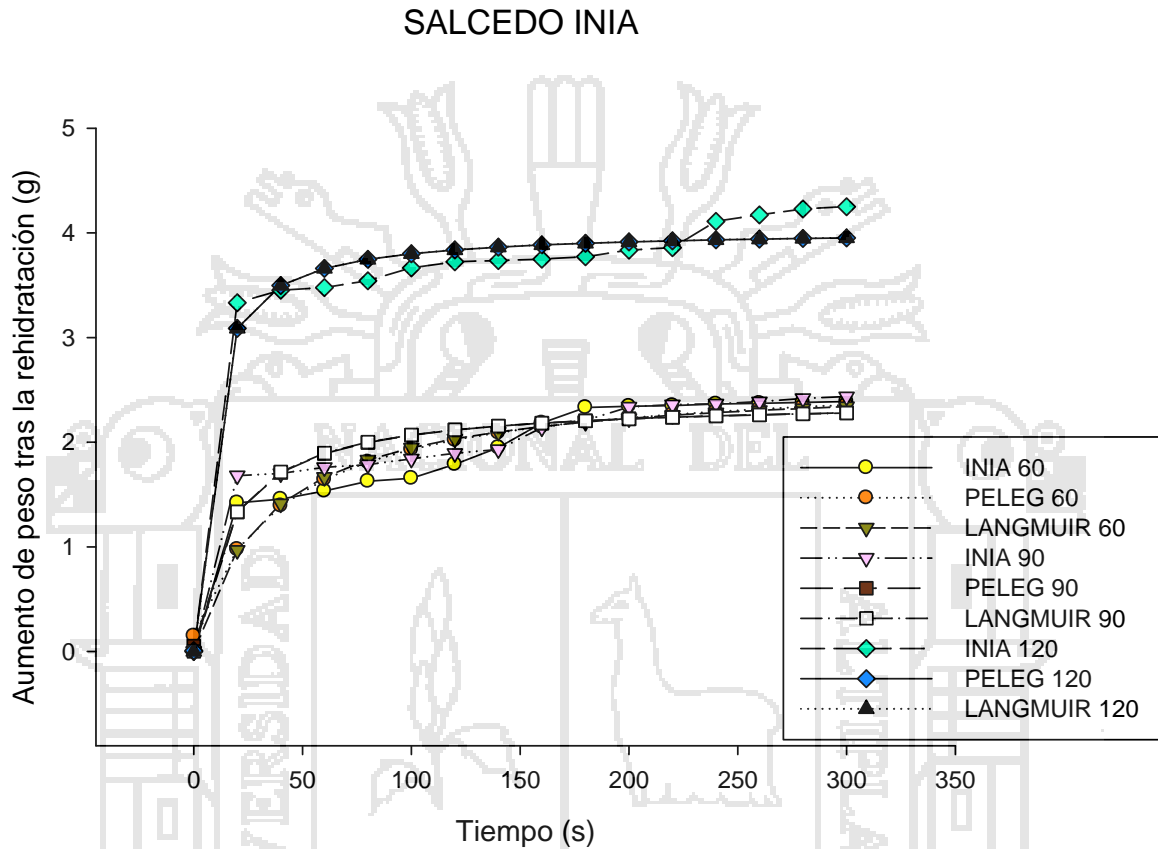


Figura 26. Modelado de la curva de rehidratación de la quinua variedad Salcedo INIA con los modelos de Peleg y Langmuir a diferentes tiempos de cocción (60, 90 y 120 minutos).

### 4.3 Capacidad de Rehidratación (RC)

Se utilizó el modelo propuesto por (Doymaz, 2008; Marín *et al.*, 2006 y Rajkumar *et al.*, 2007)

$$RC = \frac{W_r}{W_d}$$

Donde

$W_r$  : Masa de la muestra rehidratada

$W_d$ : Masa inicial de la muestra antes de la rehidratación

En el anexo 5 se reporta los datos de la capacidad de rehidratación de dos variedades de quinua cocinadas a 60, 90 y 120 minutos, en la Tabla 11 se reportan los datos promedios de las capacidades de rehidratación, siendo mayor para la variedad blanca de Juli, cocinada a 120 minutos, seguida por la variedad Salcedo INIA cocinada a 120 minutos, esta misma variedad presenta a mínima capacidad de rehidratación cocinada a 60 minutos.

En la Figura 26 se observan que el modelo de Langmuir es una curva similar a la curva Peleg y estas sobre estimadas en la capacidad máxima de rehidratación que fue de 120 minutos esto se puede aducir a las características microestructurales de la variedad Salcedo INIA, el aumento de peso tras la rehidratación en el primer tratamiento de 60 minutos y el de 90 minutos son similares esto debido a la firmeza del producto a ambos tiempos de cocción no presentó grandes variaciones, sin embargo a 120 minutos de cocción la ganancia de agua fue mayor debido a una menor firmeza de la quinua. En el anexo 4 se presentan las curvas con 3 repeticiones, y el modelado con las ecuaciones de Peleg y Lagmuir

Tabla 10. Capacidad de rehidratación para dos variedades de quinua

REPETICIÓN	VARIEDAD					
	BLANCA DE JULI			SALCEDO INIA		
	60 min	90 min	120 min	60 min	90 min	120 min
1	4.4015	5.643	6.9129	3.3853	4.2182	5.2115
2	4.4016	5.6396	6.9127	3.3854	4.2263	5.2679
3	4.4766	5.8325	6.9229	3.3953	4.2962	5.268

Tabla 11. Datos promedio de la capacidad de rehidratación

Tiempo de cocción (Minutos)	Blanca de Juli RC	Salcedo INIA RC
60	4.4265±0.0037	3.3886±0.0001
90	5.7050±0.0244	4.2469±0.0037
120	6.9161±0.0001	5.2491±0.0021

RC: Capacidad de Rehidratación

En la Tabla 11 se presenta los promedios de la capacidad de rehidratación el rango está entre  $3.3886 \pm 0.0001$  y  $6.9161 \pm 0.0001$ , el mismo se asemeja a los valores reportados por Krokida y Marinos-Kouris, (2003), que señala que la capacidad de rehidratación en productos deshidratados oscila entre 1 y 4.

## RC-BLANCA DE JULI

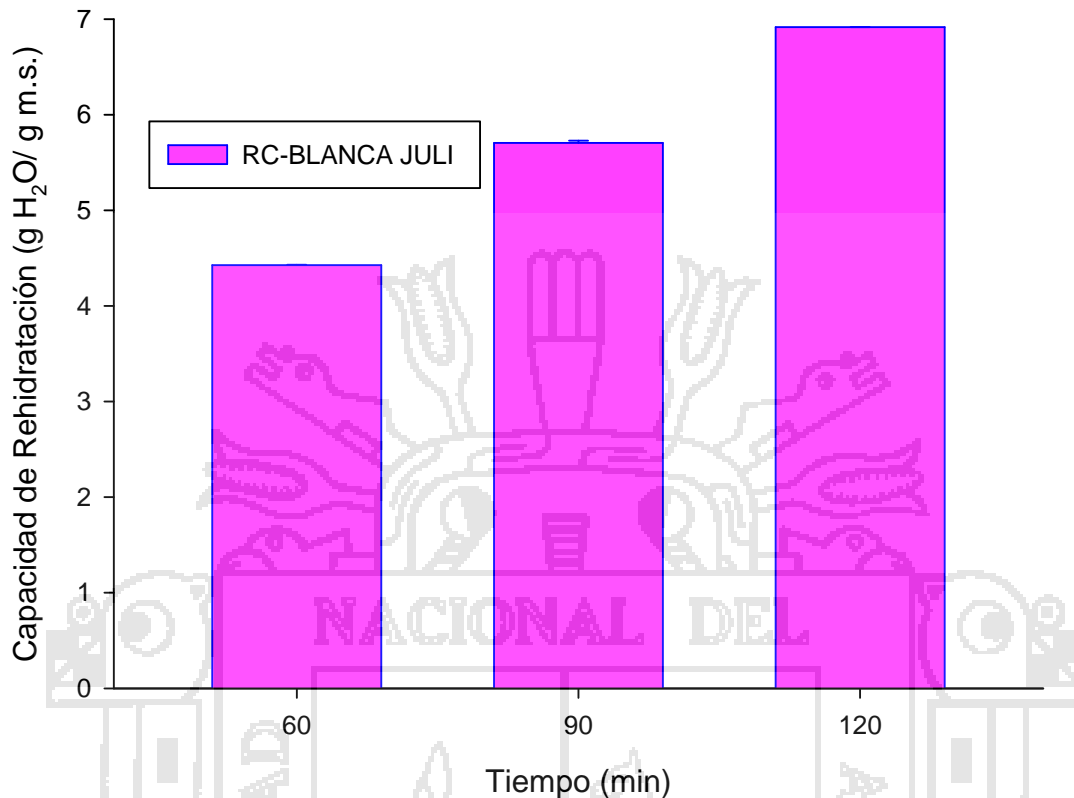


Figura 27. Influencia del tiempo de cocción en la capacidad de rehidratación en quinua deshidratada variedad Blanca de Juli.

En a la Figura 27 se observa la influencia del tiempo de cocción en quinua variedad Blanca de Juli, sobre la cinética de rehidratación el cual fue mayor para un tiempo de cocción de 120 minutos, demostrando así la influencia del tiempo de cocción en la Capacidad de Rehidratación, se presume que al ser sometidas la quinua a un mayor tiempo de cocción, sufren cambios en la estructura celular, corroborado por Rastogui *et al.*, (2004) que reportó que la aplicación de un pretratamiento influye en la capacidad de rehidratación. En la Figura 29 se observa que la variedad de quinua influye en la cinética de rehidratación siendo la variedad blanca de juli con mayor capacidad de rehidratación.



## RC-SALCEDO INIA

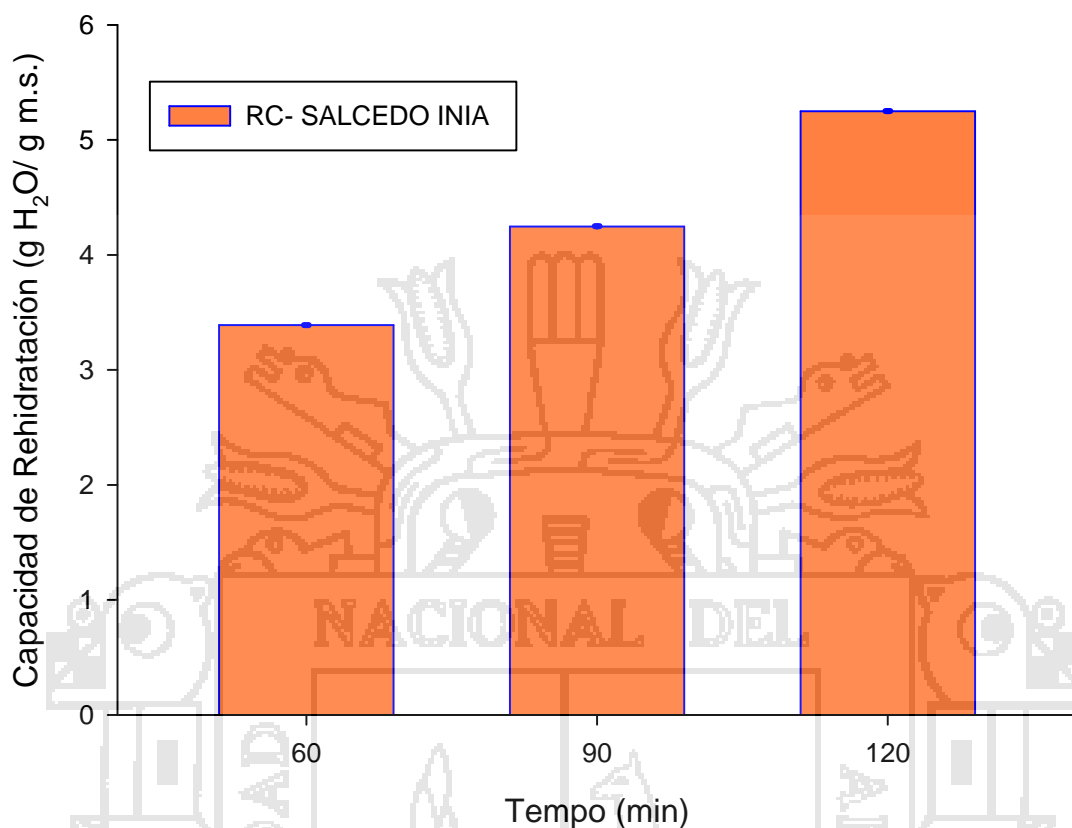


Figura 28. Influencia del tiempo de cocción en la capacidad de rehidratación de la quinua deshidratada variedad Salcedo INIA.

En a la Figura 28 se observa la influencia del tiempo de cocción en quinua variedad Salcedo INIA sobre la cinética de rehidratación el cual fue mayor para un tiempo de cocción 120 minutos, demostrando así la influencia del tiempo de cocción en la Capacidad de Rehidratación, se presume que al ser sometidas la quinua a un mayor tiempo de cocción, sufren cambios en la estructura celular, corroborado por Rastogui *et al.*, (2004) que reportó que la aplicación de un pretratamiento influye en la capacidad de rehidratación.

En la Figura 29 se observa, la comparación de la capacidad de rehidratación en dos variedades de quinua, la variedad Blanca de Juli reporta una mayor capacidad de rehidratación que la variedad Salcedo INIA. Se presume que la capacidad de rehidratación

en anvas variedades de quinua son afectadas por las características estructurales de cada variedad, de acuerdo con Krokida y Marinos-Kouris (2003), Ramos *et al.*, (2003) y Lewiki *et al.*, (1997), quienes observaron que durante el secado se presenta una ruptura celular irreversible, resultando la pérdida de la integridad y, por lo tanto, una estructura densa de vasos capilares, y la influencia en la capacidad de rehidratación. Las estructuras de las células (encogimiento y ruptura) son influyentes en el mecanismo de rehidratación (capilaridad, absorción, difusión) (Lewicki *et al.*, 1997; Marabi y Saguy, 2004).

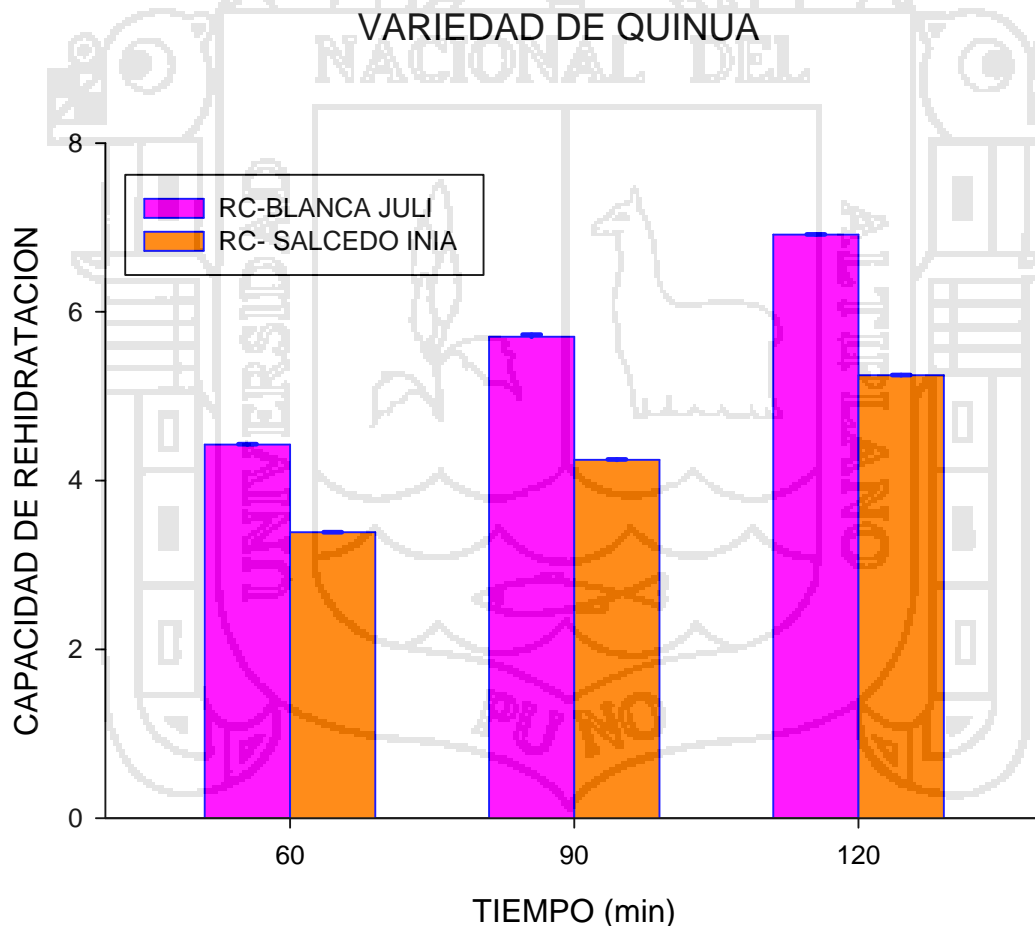


Figura 29. Comparación capacidad de rehidratación en dos variedades de quinua cocinadas a 60, 90 y 120 minutos.

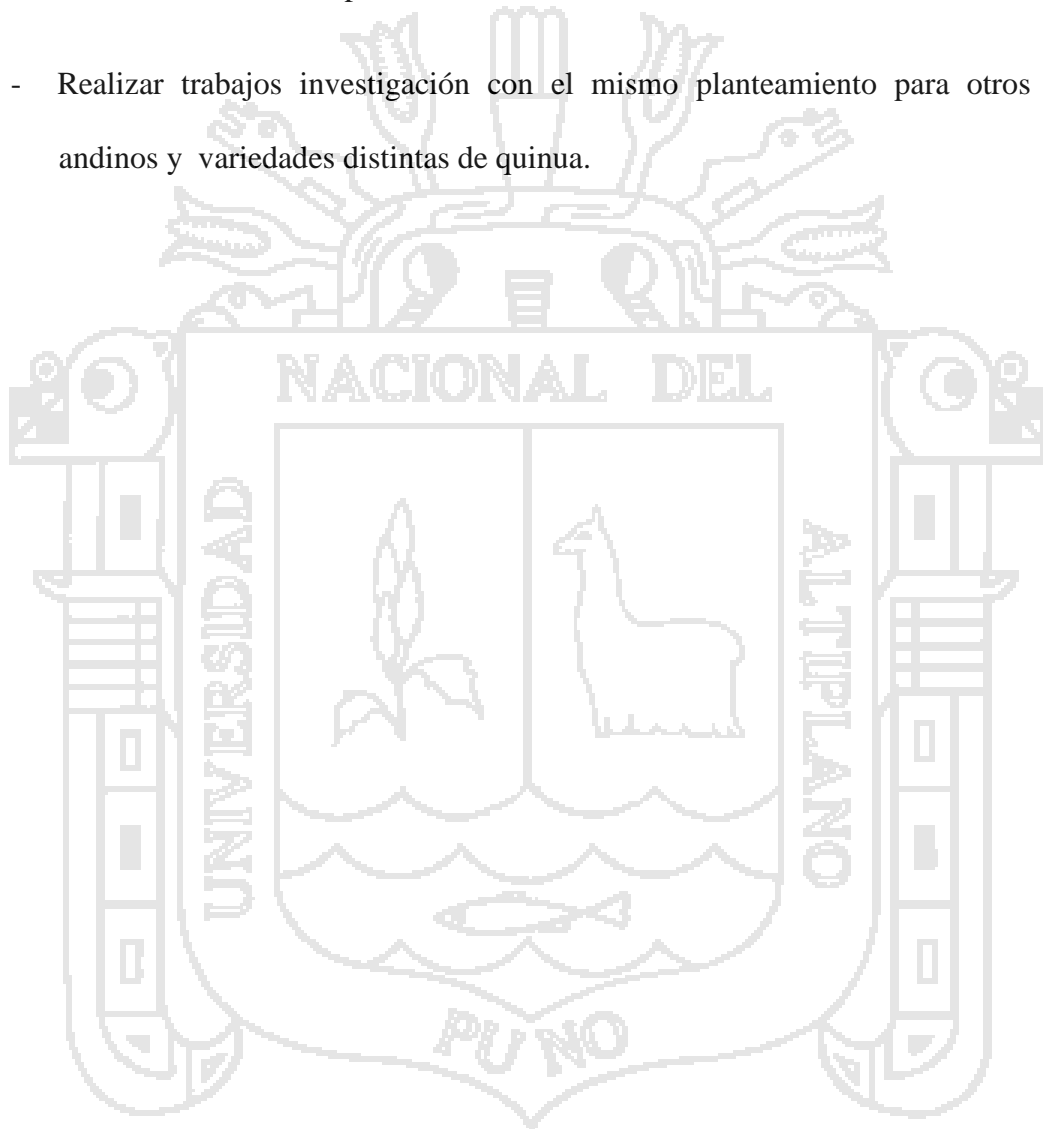
## V. CONCLUSIONES

- Se concluye para el trabajo de investigación que, el tiempo de cocción para el adecuado rehidratado en las variedades Blanca de Juli y Salcedo INIA son de 120 minutos a una temperatura de 89°C por presentar durezas mínimas. La variedad Blanca de Juli presenta mayor estabilidad durante los tiempos de cocción.
- La cinética de rehidratación en ambas variedades se ajustan a los modelos de Peleg y Langmuir, presentando RMSE buenos, la capacidad de rehidratación de la quinua es mayor en la variedad Blanca de Juli respecto a la variedad Salcedo INIA.



## VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda calcular los coeficientes de difusividad en el proceso de deshidratación en cada variedad de quinua cocida, para comprobar que el deshidratado no es un proceso inverso a la rehidratación.
- Realizar trabajos investigación con el mismo planteamiento para otros granos andinos y variedades distintas de quinua.



## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, W. (2009). Evaluación del proceso de rehidratación del liofilizado de aguacate criollo (Persea americana Mill.variedadDrimifolya) mediante análisis de imágenes.Tesis para optar grado de maestro ciencias quimicobiológicas. Instituto Politécnico Nacional. México D. F.
- Aguilera, J., D. Stanley. (2001). Simultaneous Heat and mass transfer: Dehydration. Microstructural principles.Food Processing Engineering. 9: 373-407.
- AOAC.(1990). *Official method of analysis*. 15<sup>a</sup> ed., Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC.
- Arriola, E., Garcia, T., Guatemala, G., Nungaray, J., Gonzales, O y J. Ruiz. (2006). *Comportamiento del aguacate hass liofilizado durante la operación de rehidratación*. Revista Mexicana de Ingeniería Química. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México. 5(1), 51-56.
- Badui, S. (2006). *Química de los alimentos*. Editorial Pearson Educación, México, 4<sup>a</sup> edición.
- Barbosa, G., H. Vega. (2000). *Deshidratación de alimentos*. Zaragoza, Editorial Acribia, 1<sup>a</sup> edición.
- Bilbao, C., A. Andrés y P. Fito. (2005). HidrationKinetics of Dried Apple as affected by Drying Conditions. *Journal of Food Engineering*, 68 (3), 369-376.
- Borja, U. (2012). *Efecto del tratamiento de altas presiones sobre la calidad de cocción del arroz (oryza sativa l., cultivar maratelli)*.Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Pública de Navarra. España.

- Brennan, J., J. Butters., N. Cowell y A. Lilley. (1998). *Las operaciones de la ingeniería de los alimentos*. Zaragoza, Editorial Acribia, 3ª edición.
- Brennan, J. (2008). *Manual del procesado de los alimentos*. Zaragoza, Editorial Acribia S.A.
- Chacchi, K. (2009). *Demanda de la quinua (Chenopodium quinoa Willdenow) a nivel Industrial*. Tesis para optar el grado de magister Scientiae en la Universidad Nacional Agraria la Molina. Perú.
- Casp, A., J. Abril. (1999). *Procesos de conservación de alimentos*. Madrid, A. Madrid Vicente, Ediciones Mundi-Prensa.
- Cheftel, H., J. Cheftel. (1980). *Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos*. Vol I. Zaragoza, Editorial Acribia.
- Cheftel, J., H. Cheftel. (1999). *Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos*. Vol II. Zaragoza, Editorial Acribia, 3ª Reimpresión.
- Coste, E. (1998). *Análisis sensorial de quesos*. Universidad Nacional de las lomas de Zamora. España. 10 p. Cox, P. (1987). *Ultracongelación de alimentos Guía de la teoría y práctica*. Zaragoza, Editorial Acribia, S.A.
- De La Riva, (2010). *Comparación del contenido de fitatos, polifenoles y capacidad antioxidante de la quinua (Chenopodium quinoa Willd.) Cruda y procesada. variedad Salcedo inia*. Tesis para optar el título profesional de ingeniero agroindustrial. Universidad nacional del altiplano Puno. Perú.
- Demonte, P. (1995). *Evaluación sensorial de la textura y búsqueda de correlaciones con medidas instrumentales*. Memorias de Seminario de Textura y Reología de los alimentos. Universidad del Valle. Cali-Colombia P. 8-20.

- Doymaz, I. (2008). Influence of Blanching and Slice Thickness on Drying Characteristics of Leek Slices. *Chemical Engineering and Processing*: 47, 41-47.
- El peruano. (2013) diario oficial Publicado: 14/09/2013. Editora Perú. Lima-Perú.
- Espinoza, E. (2003). *Evaluación sensorial de los alimentos*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna-Perú.
- F.A.O. (2011). *La quinua: cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial*. (Alan Bojanic, Representante Regional Adjunto Coordinador del Equipo Multidisciplinario para América del Sur) Oficina regional de la FAO para América latina y el Caribe.
- Fellows, P. (1994). *Tecnología del procesado de los alimentos: Principios y prácticas*. Zaragoza, Editorial Acribia.
- Fennema, O. (2000). *Química de los alimentos*. Zaragoza, Editorial Acribia, 2ª edición.
- Fito, P., Andrés, A., Barat, J., Albots, A. (2001). *Introducción al secado de alimentos por aire caliente*. Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
- Fox, B., Cameron, A. (2008). *Ciencia de los alimentos, Nutrición y Salud*. Editorial Limusa S.A. México. Pag.234.
- García-Pascual P., N. Sanjuan, R. Melis, A. Mulet (2006). *Morchella esculenta (morel) Rehydration process modeling*. *Journal Food Engineering*, 72, 346-353.
- Geankoplis, C. (1982). *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. C.E.C.S.A. Mexico.

- Herrera, J. (2002). *Comida preparada en base a quinua y cañihua (recetario). Proyecto cultivos subutilizados*. Instituto de innovación tecnológica y promoción del desarrollo. Sub convenio PIWANDES-IPGRI-IFAD/CIRNMA. Santiago impresores. Puno. Perú.
- Hogekamp, S., Schubert, H. (2003). Rehydration of food powders, *Journal Food Science and Technology International*, 9(3), 223-235.
- Huanatico, E. (1999). *Elaboración de sopa deshidratada a base de quinua (Chenopodium quinoa W.), haba (vicia faba L.) y maíz (Zea mays)*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Nacional del Altiplano-Puno. Perú.
- Huanatico, P. (2011). *Determinación y evaluación de parámetros óptimos para la obtención industrial de peske de quinua (Chenopodium quinoa W.)*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Nacional del Altiplano-Puno. Perú.
- Ibarz, A., Barbosa, G., Garza, S. y Gimeno, V. (2000). *Métodos experimentales en la ingeniería alimentaria*. Editorial Acribia S.A. Zaragoza España.
- Jay, J. (2009). *Microbiología moderna de los alimentos*. Editorial Acribia S.A. Zaragoza España.
- Jiao, A., Xu, X., Jin, Z. (2013). Modelling of dehydration-rehydration of instant rice in combined microwave-hot air drying, *Food and Bioproducts Processing*, FBP-427; No.of Pages 7.
- Junge, I. (1978). *Lupine and quinoa research and development*. Publicacion N°1. Anales de la escuela de ingeniería, Universidad de concepción, Chile.



- Kaymak-Ertekin E. (2000). Drying and rehydration kinetics of green and red peppers, *Journal Food Science*, 67(1): 168-175.
- Krokida, M., D. Marinos-Kouris. (2003). Rehydration Kinetics of Dehydrated Products, *Journal of Food Engineering*, 57 (1), 1-7.
- Krokida, M., Z. Maroulis. (2001). Structural properties of dehydrated products during rehydration. *International Journal Food Science technology*, 36:529-538.
- Labuza, T., A. Kaanane, J. Chen. (1985). Effect of Temperature on the Moisture Sorption Isotherms and Water Activity Shift of two dehydrated Foods. *Journal Food science*, 50: 385 – 91.
- Lee K., M. Farid, S.Nguang. (2006). The mathematical modeling of the rehydration characteristics of fruits, *Journal of Food Engineering*, 72: 16-23.
- León N., A. Frisancho, L. Lazo. (2006). *Saboreando y protegiendo nuestra biodiversidad, Usos y valor nutritivo de los cultivos andinos*. Universidad Nacional de san Agustín. Arequipa. Perú.
- Lipton W. (1990). Postharvest biology of fresh asparagus. Horticultural reviews. Jules Janik, Purdue University. Vol 12.
- Lewicki, PP. (1998). Effect of pre-drying treatment, drying and rehydration on plant tissue properties: a review, *Intertnat Journal Food properties*, 1: 1-22.
- Lewicki, PP. (1998). Some remarks on Rehydration of dried food, *Journal food Engineering*, 36: 81-87.
- Lewicki, PP., D. Witrowa-Rajchert y J. Mariak. (1997). Changes of Structure During Rehydration of Dried Apples. *Journal of Food Engineering*, 32 (4), 347-350.
- López V., López H., Reyes I., Aquino E., Soto S. y Güemes N. (2006) *efecto de las*

*características geológicas de tallarines fortificados con derivados de lupinus.* Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. UAEH-MEXICO.

Luna, G., S. Aguilar. (2011). *Conservación de los alimentos y predicción de su vida útil.* Imprenta Arco Iris E.I.R.L. Puno-Perú.

Madrid, A., J.M. Gomez-Pastrana, F. Santiago, J.M. Madrid, J.M. Cezano. (2010). *Refrigeracion, Congelacion y envasado de los alimentos.* Editorial Mundi-Prensa Madrid España, 2ª reimpresión.

Mamani, E. (2006). *Efecto de goma xantana en la textura y laminado de tres variedades de quinua *Chenopodium quinoa* Willd.* Tesis para optar el título profesional de ingeniero agroindustrial. Universidad Nacional del Altiplano Puno-Perú.

Marabi, A., C. Dilac, J. Shah, S. Saguy. (2004). Kinetic of solids leaching during rehydration of particulate dry vegetables, *Journal Food Science*, 69:3.

Marabi, A. y S. Saguy. (2004). Effect of Porosity on Rehydration of Dry Food Particulates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84 (10), 1105-1110.

Marin B.E., M.R. Lemus, M.V. Flores y G.A. Vega. (2006). La Rehidratación de Alimentos Deshidratados. *Revista Chilena de Nutrición*,: 33 (3), 527-538.

Mayor L. y A. M. Sereno. (2004). Modelling Shrinkage During Convective Drying of Food Materials: A Review. *Journal of Food Engineering*, 61(3), 373-386.

Medina W., P. Melín, A. Mujica. (2003). Propiedades mecánicas de granos de quinua (*Chenopodium quinoa* Wild). *Revista Agroindustrial*, Tercera edición. carrera profesional de ingeniería agroindustrial. UNA-Puno. Perú. Pág. 12-16.

Melquíades, Y. I.; C. López y M. E. Rosas. (2009). *Estudio de la Cinética de Rehidratación de Zanahoria (*Daucus Carota*) Deshidratadas.* Universidad Nacional Autónoma de

- México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Información Tecnológica Vol. 20(3), 65-72.
- Mendieta O. (1991). *Elaboración de sopas deshidratadas empleando pulpa de sardina (Sardinops sagax sagax), Habas Maíz y Quinua*. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima-Perú.
- MINAG-Perú, Ministerio de Agricultura revisado 15/08/2013- 12:46. Disponible en URL:<http://quinua.pe/quinua-zonas-de-produccion/>
- MINAG-Perú, Ministerio de Agricultura revisado 15/08/2013- 13:39. Disponible en URL:<http://www.minag.gob.pe/portal/notas-de-prensa/notas-de-prensa2013/9345-el-peru-se-perfila-como-primer-exportador-mundial-de-quinua>.
- Mujica, A., S. Jacobsen. (2006). La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y sus parientes silvestres. Botánica Económica de los Andes Centrales Editores.
- Muñoz, I., Garcia, N., Arnau, P. (2012). Rehydration kinetics at 5 and 15 °C of dry salted meat. *Journal of Food Engineering* ,110 (1): 465-471.
- M. Moraes R., B. Øllgaard, L. P. Kvist, F. Borchsenius & H. Balslev Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, 449-457.
- Norma Técnica Peruana 209.260. 2004. Alimentos cocidos de reconstitución Instantanea. Papilla. Requisitos. Comición de reglamentos técnicos y comerciales. INDECOPI. 1ª edición. Lima Perú. 20p.
- Orrego, C. (2008). *Congelación y liofilización de alimentos*. Universidad Nacional de Colombia. Artes graficas Tizan Ltda.
- Peleg, M. (1988). An empirical model for description of moisture sorption curves. *Journal Food Science*, 53 (1): 1216-1219.

Potter, N.; J. Hotchkiss. (1999). *Ciencia de los alimentos*. Zaragoza, Editorial Acribia, S.A.

5ª edición. Proyecto quinua, Gobierno regional-Puno (consultado el 26 de junio de 2012-

18:20). Disponible en URL: <http://www.proyectoquinuapuno.com/>

Quelal, M. (2010). *Análisis de la cadena agroproductiva de la quinua (Chenopodiumquinoawilld), en la provincias de Chimborazo e Imbabura*. Proyecto previo a la obtención del título de ingeniería agroindustriales. EscuelaPolitecnicaNacional. Ecuador. Pag. 2 (136).

Rajkumar, P., Kailappan, R., Raghavan, G., Viswanathan, R., Orsat, V. (2007). Desing of a continuous type dryer for the drying kinetics study of foamed and non-foamed mango pulps. *American Society of Agricultural and Biological engineering*.23(4), 509 – 115.

Ramallo, L., R. Mascheroni. (2009). *Cinética de rehidratación de ananá Pre-secado con aire caliente*. Universidad nacional de misiones. Argentina.

Ramos, I., T. Brandão y C. Silva. (2003). Structural Changes During Air Drying of Fruits and Vegetables. *Food Science and Technology Internationa*,: 9, 201-206.

Rastogi, N., K. Niranjana. (1998). Enhanced mass transfer during osmotic dehydration of high pressure treated pineapple. *Journal Food science*,63 (3): 508-511.

Rodríguez, F., Aguado, J., Calles, J., Cañizares, P., López, B., Santos, A., Serrano, D. (2002). *Ingeniería de la industria alimentaria Vol. III. Operaciones de conservación de alimentos*. España. Editorial Síntesis. S.A.

- Sablani, S.S.; Myhara, R.M.; Mahgoub, Al-Attabi, Z.H.; Al-Mugheiry, M.M. (2001). Water Sorption isotherms of freeze dried fish sardines. *Drying Technol*, 19, 673-680.
- Sanjuán, N., J. Andres, G. Clemente, A. Mulet. (2001). Modeling of the Rehydration process of broccoli florets. *European Food Res technology*, 212: 449-453.
- Sanjuán, N., S. Simal, J. Bon y A. Mulet. (1999). Modelling of Broccoli Stems Rehydration Process. *Journal of Food Engineering*, 42 (1), 27-31. Sharma, S., Mulvaney, S., Rizvi, S. (2003). *Ingeniería de los alimentos Operaciones unitarias y prácticas de laboratorio*. México, Editorial Limusa, S.A.
- Soraide, D. (2012). Guía de técnicas de producción ecológica en el cultivo de la quinua real. Fundación FAUTAPO. Educación para el desarrollo. Programa Complejo Productivo Altiplano Sur. Bolivia.
- Tapia, M., Gandarillas, H., Alandía, S., Cardozo, A., Mujica, A., Ortiz, R., Otazu, V., Rea, J., Salas, B. y Sanabria, E. (1979). *La Quinua y La Kañiwa: Cultivos Andinos*. Bogotá, Colombia. Editorial IICA.
- Tian Y., Zhao J., Xie Z., Wang J., Xu X., Jin Z. (2014). Effect of different pressure-soaking treatments on color, texture, morphology and retrogradation properties of cooked rice. *LWT - Food Science and Technology*, 55 (2014) 368-373
- Togrul, I.T., Pehlivan, D. (2003). Modeling of drying kinetics of simple apricot. *Journal of Food Engineering*, 58, 23-32.
- Troller, H. (1980). Influence of water activity on microorganisms in foods. *Food Technologi*, 34, 79 – 80.

- Valero, C. y Ruiz, M. (2000). *Equipos de medida de calidad organoléptica en frutas*. Dpto. Ing. Rural – ETSIA UPM MADRID.
- Vega, A.(2003).*Estudio de la deshidratación y rehidratación del pimiento rojo (Capsicumannuum L.) var. Lamuyo*. Tesis para optar le grado de Doctor, departamento de tecnología de alimentos, Universidad Politécnica de Valencia. España.
- Vega, A., R. Lemus. (2006). Modelado de la cinética de secado de la papaya chilena (*Vasconcelleapubescens*), *Revista de Información Tecnológica*. 27(3): 23-31.
- Vela, N. y Cabrera, J. (1984). Utilización de la semilla de Quinoa en la alimentación humana. *TECNOLOGIA* 147, 7 – 27.
- Velásquez, P. (2003). *Determinación de tres parámetros de malteo en cultivares de quinoa (Chenopodiumquinoa wild)*. En Puno Perú. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero agroindustrial. Universidad Nacional del Altiplano-Puno-Perú.
- Velezvia, J. (2005). *Elaboración de sopas reconstituibles en base de carachi(OrestiasagassiiV.), Tarhui (LupinusmutabilisS.), Quinoa (Chenopodiumquinoa W.) y Cañihua (Chenopodiumpallidicaule A.)*. Tesis para optar el grado magister scientiae, Universidad Nacional Agria la Molina. Perú.
- Velezvia, J. y L. Estrada. (2006). Elaboración de sopas reconstituibles en base de carachi(*OrestiasagassiiV.*), Tarhui (*LupinusmutabilisS.*), Quinoa (*Chenopodiumquinoa W.*) y Cañihua (*Chenopodiumpallidicaule A.*). *Revista Universitaria*, Universidad Nacional del Altiplano. Perú. 11(9), 22 – 31.

Vivas, M. (1979). *Estudio Técnico para la obtención de una Mezcla Vegetal Básica Precocida para Consumo Humano*. Tesis para optar el título de ingeniero en industrias alimentarias, Universidad Nacional Agraria la Molina. Perú.

Weerts, A., D. Martin, G. Lian, J. Melrose (2006). Modelling the hydration of foodstuffs, *Simulation Modelling practice and theory*. 13: 119-128.

Zegarra, G. (2010). *Actividad deterrente y acaricida de principios activos de quinuas amargas, aceites esenciales y tarwi*. Tesis para optar el título de licenciado en química, Pontificia universidad católica del Perú.



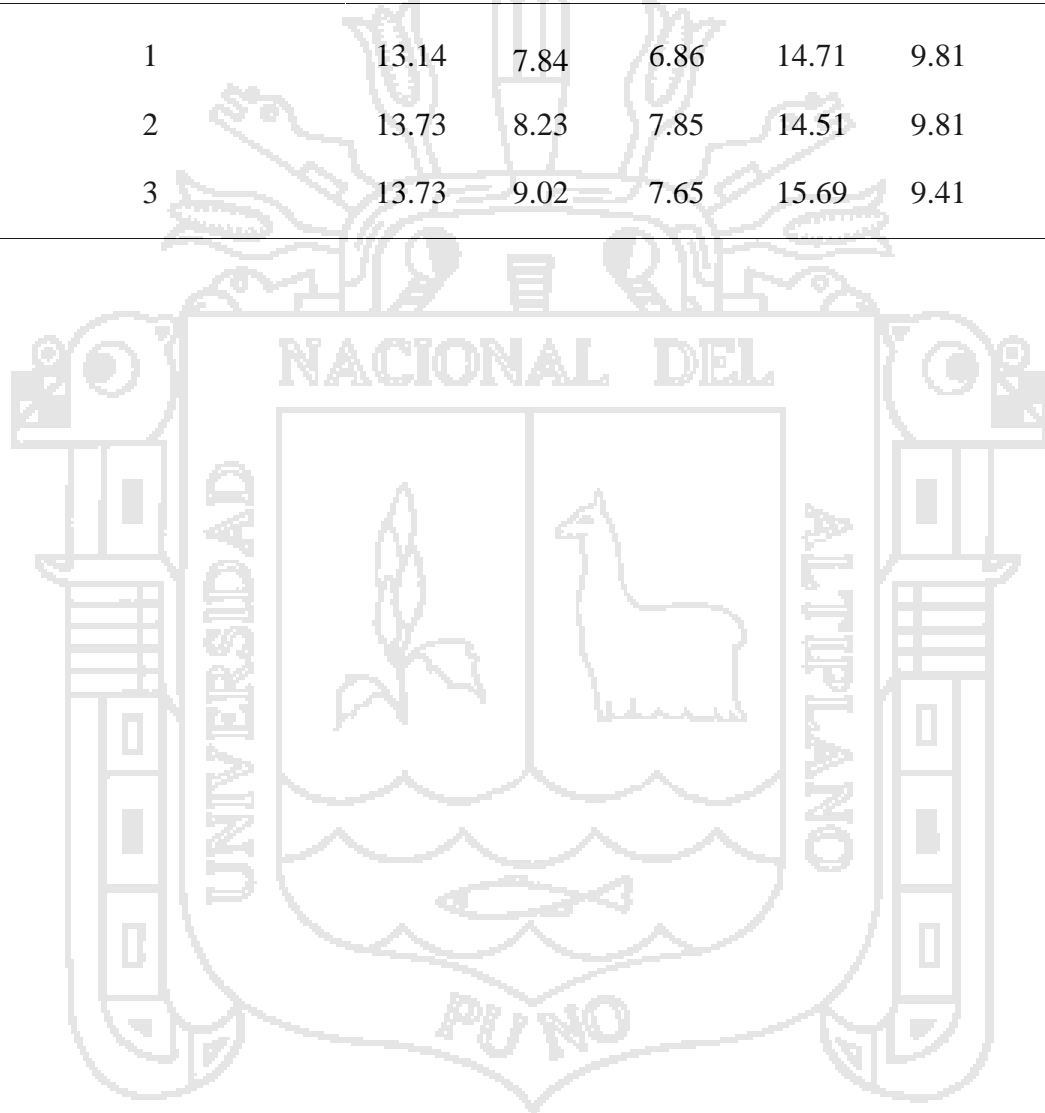




## Anexo I

Dureza (N) de dos variedades de quinua cocida a tres diferentes tiempos

REPETICIONES	VARIEDAD					
	Blanca de Juli			Salcedo INIA		
	60MIN	90MIN	120MIN	60MIN	90MIN	120MIN
1	13.14	7.84	6.86	14.71	9.81	5.29
2	13.73	8.23	7.85	14.51	9.81	6.47
3	13.73	9.02	7.65	15.69	9.41	5.88



Anexo II

Promedios de ganancia de peso de dos variedades de quinua durante la rehidratación (tiempo de cocción 60, 90 y 120 minutos).

Tiempo segundos	VARIEDAD Blanca de Juli			VARIEDAD Salcedo INIA		
	60 minutos	90 minutos	120 minutos	60 minutos	90 minutos	120 minutos
0	0	0	0	0	0	0
20	1.6536±0.068	3.8987±0.002	4.4228	1.4206±0.001	1.6798±0.001	3.3320±0.001
40	2.2035±0.001	4.1249±0.005	5.1965±0.002	1.4561±0.004	1.7005±0.001	3.4514
60	2.2647±0.009	4.2411	5.2839±0.002	1.5342±0.016	1.7593	3.4765
80	2.3676±0.071	4.2914±0.003	5.4072±0.012	1.6265±0.006	1.7846	3.5423
100	2.4488±0.084	4.3083±0.004	5.5191±0.005	1.6561±0.0107	1.8394	3.6656±0.001
120	2.5226±0.101	4.4006±0.001	5.5789±0.008	1.7879±0.034	1.8935	3.7238±0.001
140	2.6852±0.096	4.4345±0.002	5.6155±0.011	1.9482	1.9295	3.7345
160	2.8353±0.030	4.4873±0.010	5.6987±0.012	2.1832±0.040	2.1377±0.002	3.7484
180	2.9642	4.5567±0.002	5.7628±0.005	2.3310	2.2059±0.001	3.7712
200	3.3069	4.5922±0.004	5.8164	2.3435±0.001	2.3367	3.8353
220	3.3803±0.003	4.6285	5.8351	2.3498	2.3587±0.001	3.8589±0.001
240	3.4011±0.002	4.6348±0.001	5.8516	2.3651	2.3658±0.001	4.1096±0.012
260	3.4108±0.002	4.6730±0.007	5.9109	2.3709	2.3867	4.1718±0.003
280	3.4232±0.002	4.7046±0.024	5.9126	2.3802	2.4172	4.2289±0.001
300	3.4265±0.003	4.7050±0.024	5.9161	2.3886	2.4351±0.003	4.2491±0.002

## Anexo III

Datos experimentales del aumento de peso tras la rehidratación de quinua cocida, deshidratada variedad blanca de Juli. (Tiempo de cocción 60 minutos).

Tiempo rehidratación (segundos)	Ganancia de Agua (g) 60 minutos de cocción variedad Blanca de Juli		
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
0	0	0	0
20	1.4698	1.6659	1.8251
40	2.2374	2.1984	2.1749
60	2.3432	2.2317	2.2194
80	2.5831	2.2932	2.2265
100	2.6792	2.3831	2.2843
120	2.7667	2.4788	2.3223
140	2.8703	2.7432	2.4423
160	2.9552	2.8441	2.7068
180	2.9789	2.9643	2.9495
200	3.2947	3.3123	3.3138
220	3.3953	3.3341	3.4116
240	3.3987	3.367	3.4376
260	3.3988	3.3801	3.4535
280	3.4015	3.4015	3.4667
300	3.4015	3.4016	3.4766

Datos experimentales del aumento de peso tras la rehidratación de quinua cocida,  
deshidratadas variedad blanca de Juli. (tiempo de cocción 90 minutos)

Tiempo (segundos)	Ganancia de Agua (g) 90 minutos de cocción		
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
0	0	0	0
20	3.908	3.926	3.8622
40	4.098	4.0934	4.1834
60	4.257	4.2238	4.2425
80	4.2972	4.3297	4.2473
100	4.3016	4.3562	4.2671
120	4.386	4.4307	4.3853
140	4.428	4.4732	4.4023
160	4.5335	4.5259	4.4026
180	4.5762	4.5749	4.5191
200	4.6365	4.5987	4.5414
220	4.6378	4.6143	4.6336
240	4.6398	4.6246	4.6401
260	4.6421	4.6341	4.7429
280	4.643	4.6395	4.8314
300	4.6431	4.6396	4.8325

Datos experimentales del aumento de peso tras la rehidratación de quinua cocida,  
deshidratadas variedad blanca de Juli. (tiempo de cocción 120 minutos).

Tiempo (segundos)	Ganancia de peso (g) 120 minutos de cocción		
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
0	0	0	0
20	4.418	4.4251	4.4255
40	5.205	5.1572	5.2275
60	5.2624	5.2638	5.3256
80	5.3641	5.3603	5.4973
100	5.5712	5.4638	5.5225
120	5.6451	5.5124	5.5792
140	5.685	5.5353	5.6263
160	5.7863	5.6735	5.6363
180	5.819	5.7563	5.7132
200	5.8382	5.7936	5.8174
220	5.8384	5.8428	5.8243
240	5.8416	5.8836	5.8296
260	5.9164	5.9036	5.9127
280	5.9127	5.9123	5.9129
300	5.9129	5.9127	5.9229

Ganancia de peso durante la rehidratación de quinua deshidratadas variedad Salcedo INIA  
(tiempo de cocción 60 minutos).

tiempo segundos	Ganancia de agua (g) 60 minutos de cocción		
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
0	0	0	0
20	1.4563	1.3997	1.4059
40	1.483	1.3998	1.4857
60	1.628	1.4489	1.5257
80	1.6835	1.5667	1.6293
100	1.735	1.5945	1.6389
120	1.926	1.6652	1.7726
140	1.954	1.9358	1.9548
160	2.026	2.2213	2.3025
180	2.3512	2.3265	2.3154
200	2.3624	2.3515	2.3168
220	2.3647	2.3565	2.3282
240	2.3688	2.3613	2.3653
260	2.3753	2.3672	2.3702
280	2.3853	2.3818	2.3735
300	2.3853	2.3854	2.3953

Ganancia de peso durante la rehidratación de quinua deshidratadas variedad Salcedo INIA  
(tiempo de cocción 90 minutos).

tiempo segundos	Ganancia de agua (g) 90 minutos de cocción		
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
0	0	0	0
20	2.2056	2.2554	2.2585
40	2.24887	2.2588	2.2945
60	2.3393	2.3596	2.3384
80	2.394	2.3889	2.3556
100	2.4628	2.4573	2.4375
120	2.5039	2.5279	2.5424
140	2.5783	2.5702	2.5697
160	2.8732	2.8708	2.8071
180	2.911	2.9613	2.9516
200	3.1073	3.1082	3.1315
220	3.1275	3.1259	3.1814
240	3.1286	3.1525	3.1821
260	3.1904	3.1614	3.1952
280	3.2176	3.2228	3.2285
300	3.2182	3.2263	3.2962

Ganancia de peso durante la rehidratación de quinua deshidratadas variedad Salcedo INIA  
(tiempo de cocción 120 minutos).

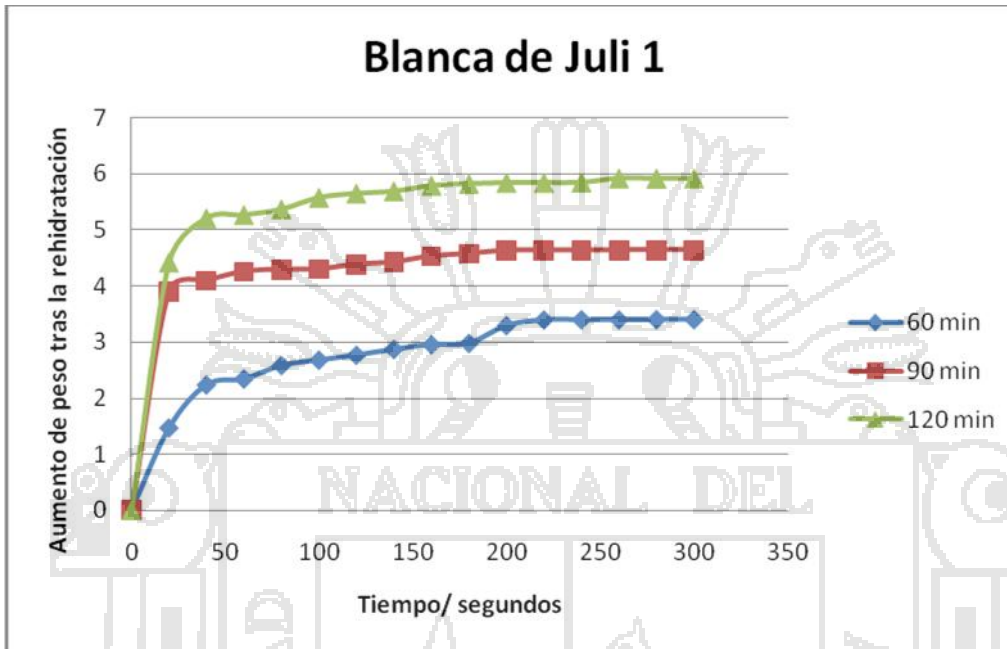
Tiempo Segundos	Ganancia de agua (g) 120 min de cocción		
	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
0	0	0	0
20	3.3454	3.3504	3.3004
40	3.4385	3.4532	3.4625
60	3.4525	3.4884	3.4888
80	3.5349	3.5438	3.5484
100	3.6768	3.6827	3.6375
120	3.7221	3.7008	3.7486
140	3.724	3.7259	3.7537
160	3.7605	3.7311	3.7537
180	3.7956	3.7548	3.7633
200	3.8602	3.8281	3.8176
220	3.8935	3.8416	3.8417
240	4.0235	4.1823	4.1232
260	4.1225	4.1952	4.1979
280	4.2039	4.2258	4.2571
300	4.2115	4.2679	4.268



Anexo IV

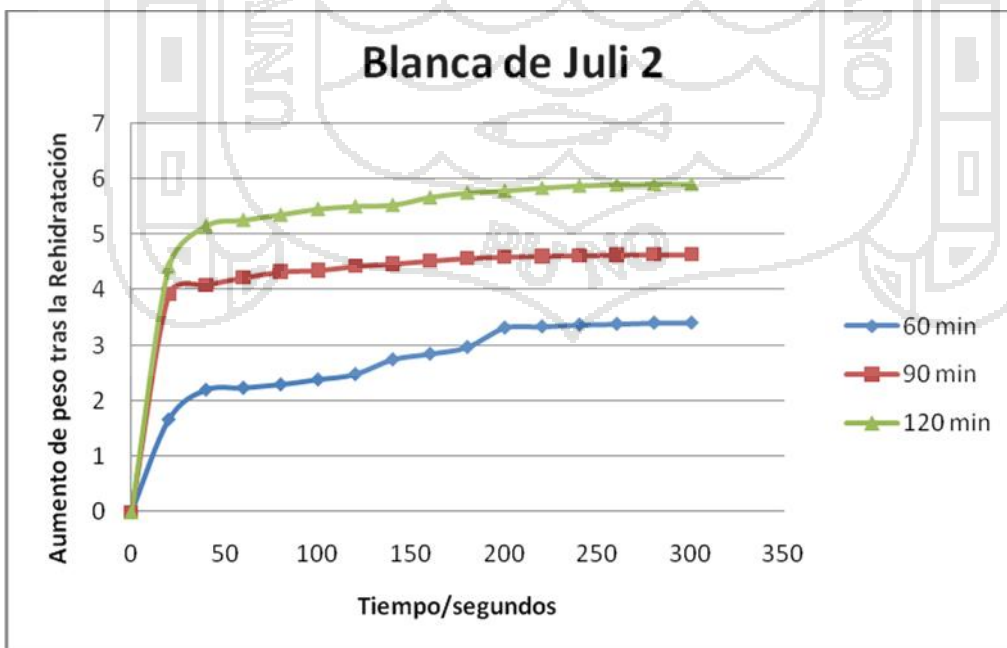
Comportamiento de la ganancia de peso de la quinua deshidratada al transcurrir el tiempo.

Primera repetición



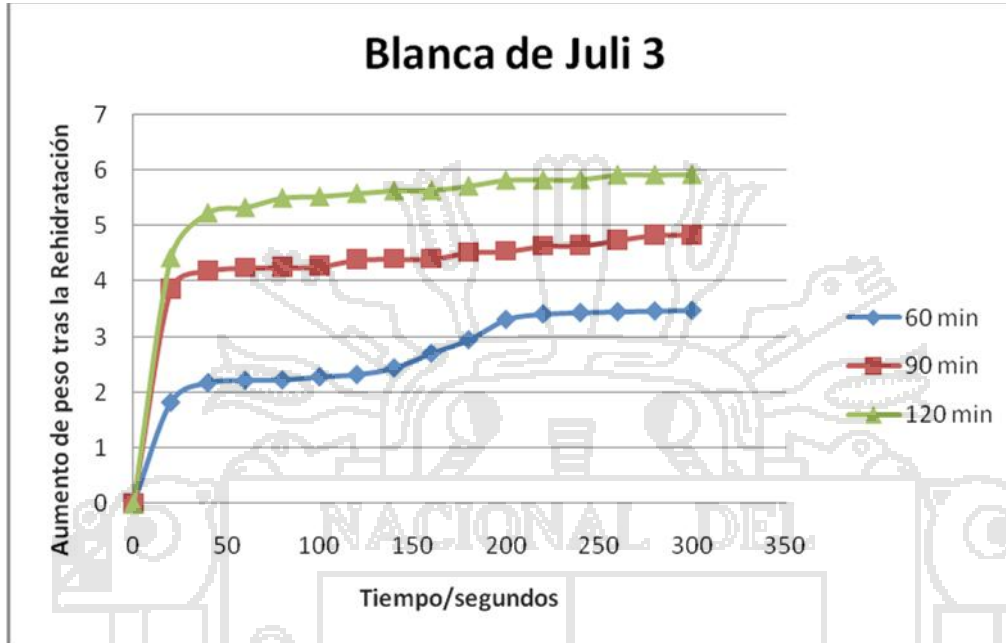
Comportamiento de la ganancia de peso de la quinua deshidratada al transcurrir el tiempo.

Segunda repetición



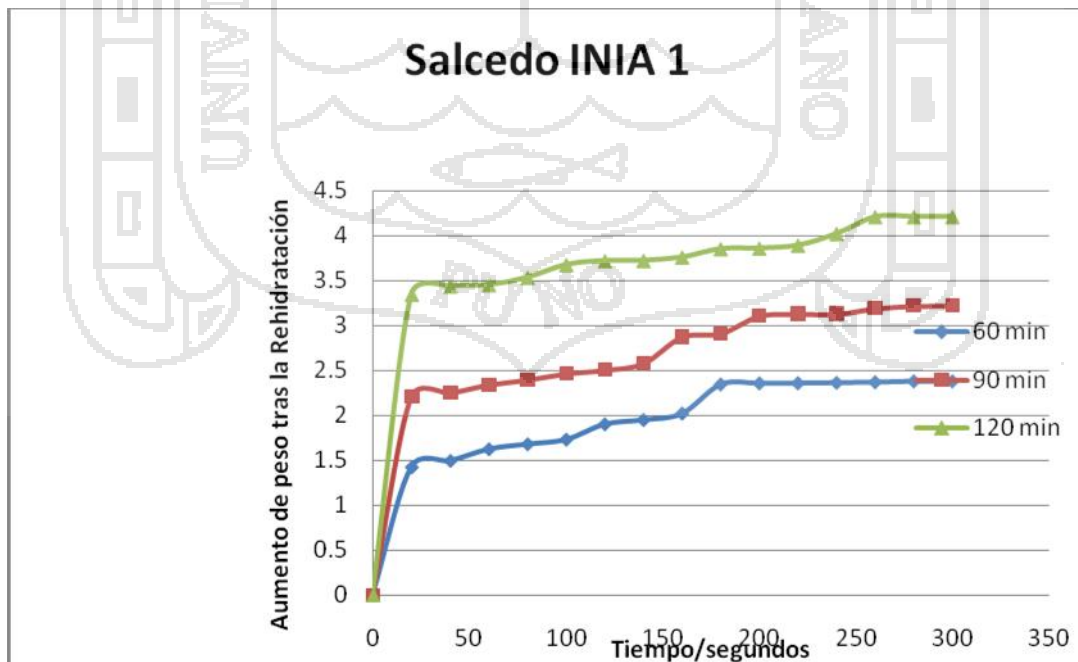
Comportamiento de la ganancia de peso de la quinua deshidratada al transcurrir el tiempo.

Tercera repetición



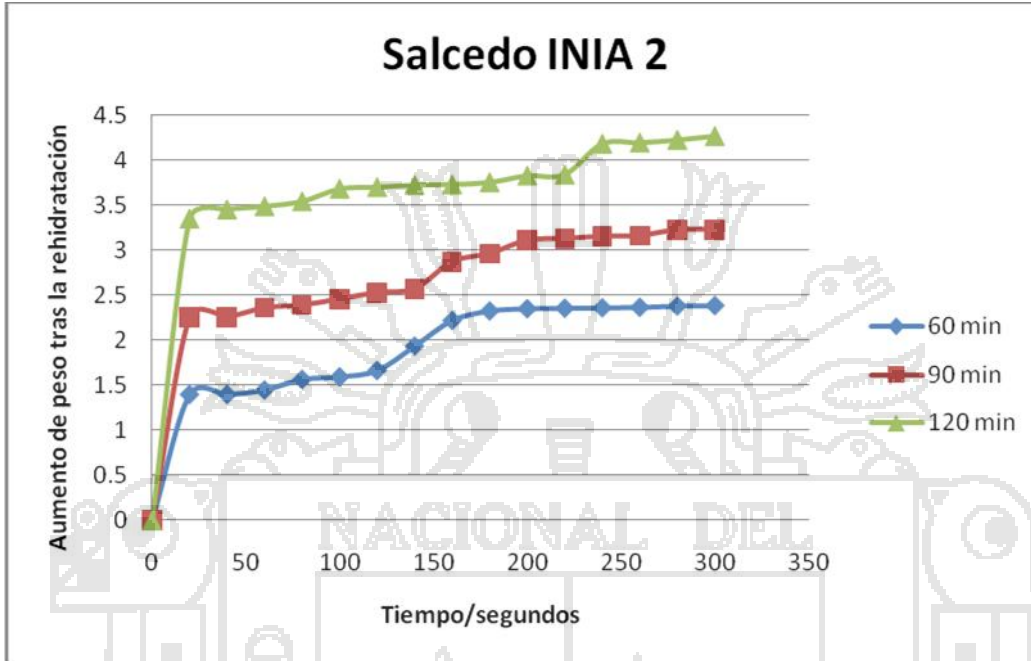
Comportamiento de la ganancia de peso de la quinua deshidratada al transcurrir el tiempo.

Primera repetición



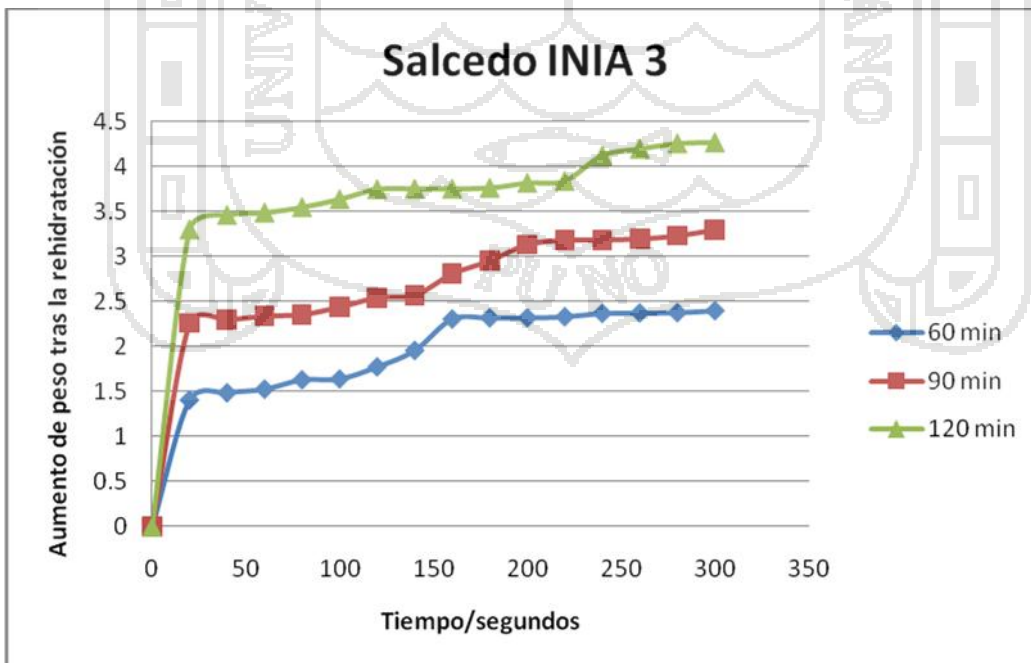
Comportamiento de la ganancia de peso de la quinua deshidratada al transcurrir el tiempo.

Segunda repetición

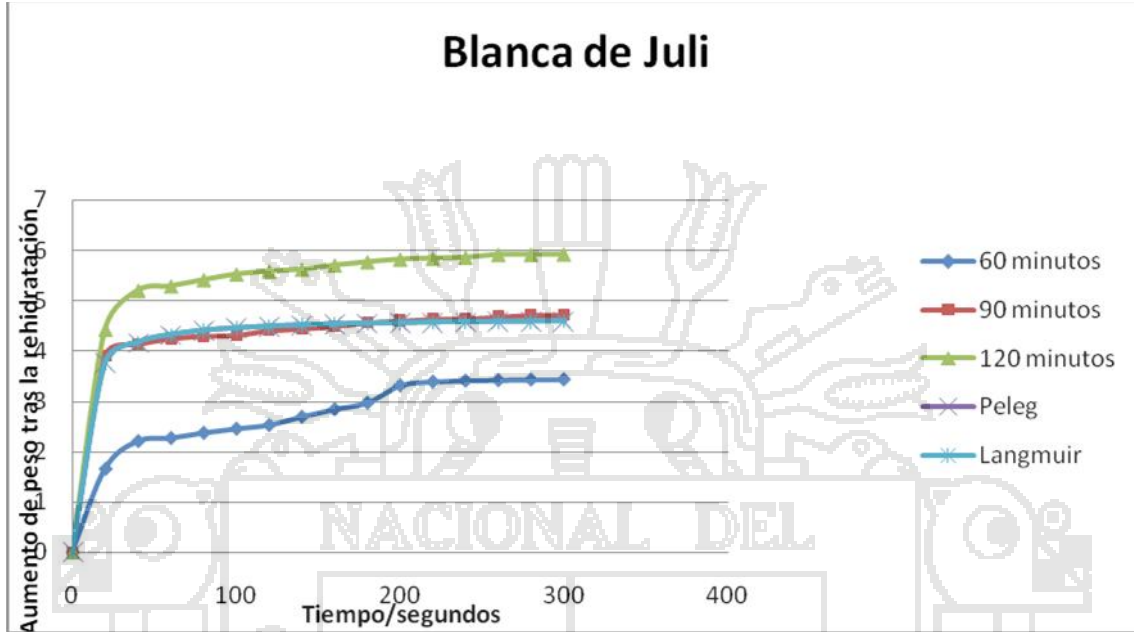


Comportamiento de la ganancia de peso de la quinua deshidratada al transcurrir el tiempo.

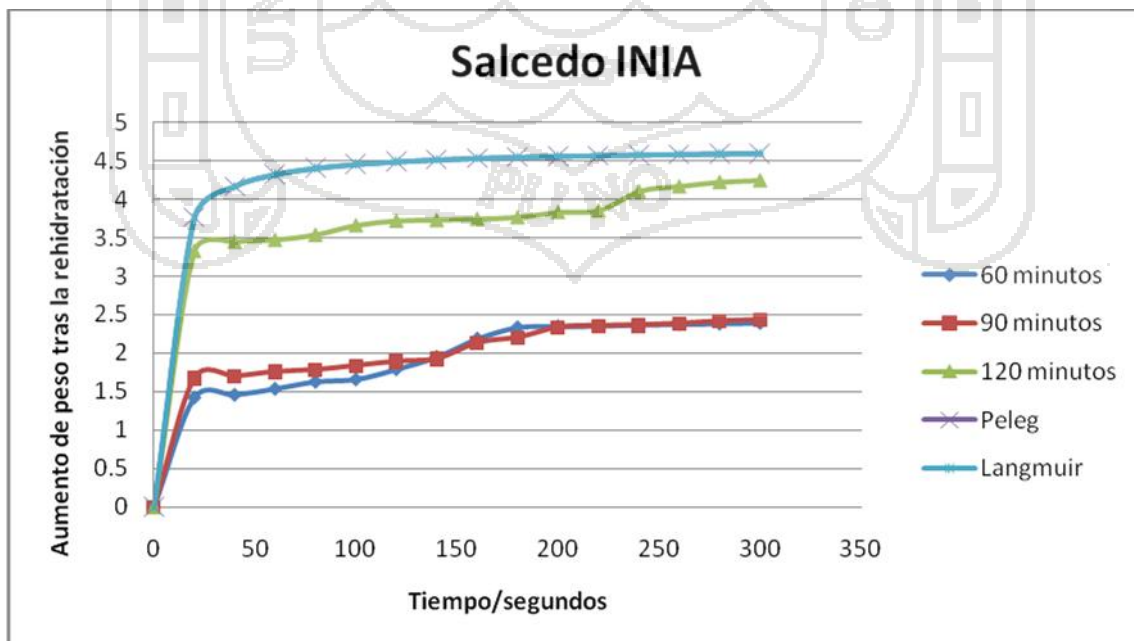
Tercera repetición.



Modelado cinético de la quinua variedad Blanca de Juli.



Modelado cinético de la quinua variedad Salcedo INIA.



## Anexo V

## Capacidades de Rehidratación para dos variedades de quinua (primera repetición)

Tiempo de cocción (Minutos)	Blanca de Juli			Salcedo INIA		
	Wr	Wd	RC	Wr	Wd	RC
60	4.4015	1	4.4015	3.3853	1	3.3853
90	5.6430	1	5.6430	4.2182	1	4.2182
120	6.9129	1	6.9129	5.2115	1	5.2115

## Capacidades de Rehidratación para dos variedades de quinua (segunda repetición)

Tiempo de cocción (Minutos)	Blanca de Juli			Salcedo INIA		
	Wr	Wd	RC	Wr	Wd	RC
60	4.4016	1	4.4016	3.3854	1	3.3854
90	5.6396	1	5.6396	4.2263	1	4.2263
120	6.9127	1	6.9127	5.2679	1	5.2679

## Capacidades de Rehidratación para dos variedades de quinua (tercera repetición)

Tiempo de cocción (Minutos)	Blanca de Juli			Salcedo INIA		
	Wr	Wd	RC	Wr	Wd	RC
60	4.4766	1	4.4766	3.3953	1	3.3953
90	5.8325	1	5.8325	4.2962	1	4.2962
120	6.9229	1	6.9229	5.2680	1	5.2680