



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**ANÁLISIS ESTADÍSTICO EXPLORATORIO DE DOS TIPOS DE  
SECADO DE QUINUA**

**AUTOR ANGEL PATRICIO MENA REINOSO**

**Proyecto de Investigación, presentado ante el Instituto de Postgrado y  
Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la  
obtención del grado de Magíster en Matemática Básica**

**RIOBAMBA - ECUADOR  
OCTUBRE - 2015**



## ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

### CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Proyecto de Investigación, titulado "Análisis Estadístico Exploratorio de dos Tipos de Secado de Quinua", de responsabilidad del Sr Angel Patricio Mena Reinoso ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Tribunal:

\_\_\_\_\_  
Dr. Juan Vargas MsC.  
**PRESIDENTE**

  
\_\_\_\_\_  
FIRMA

\_\_\_\_\_  
Dr. Rigoberto Muñoz MsC.  
**DIRECTOR**

  
\_\_\_\_\_  
FIRMA

\_\_\_\_\_  
Ing. Isabel Escudero MsC.  
**MIEMBRO**

  
\_\_\_\_\_  
FIRMA

\_\_\_\_\_  
Dr. Jorge Tuapanta MsC.  
**MIEMBRO**

  
\_\_\_\_\_  
FIRMA

\_\_\_\_\_  
**COORDINADOR SISBIB ESPOCH**

  
\_\_\_\_\_  
FIRMA

Riobamba, Octubre 2015

## **DERECHOS INTELECTUALES**

Yo, Angel Patricio Mena Reinoso, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en EL PRESENTE Proyecto de Investigación, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

Angel Patricio Mena Reinoso  
0601855836

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo es dedicado a toda mi familia y en forma especial a mis padres por su apoyo, dedicación y sus sabios consejos.

## **AGRADECIMIENTO**

El conocimiento de las ciencias constituye una herramienta para el desarrollo de los pueblos por lo que inculcar y fomentar el mismo es una tarea de todos, por lo que la enseñanza es una labor ardua y tesonera. Mi agradecimiento a todos los docentes de la Maestría, Tutor y Asesores del presente trabajo, al personal de laboratorio de Operaciones Unitarias y Alimentos de la Facultad de Ingeniería de la UNACH.

## INDICE

	<b>Páginas</b>
CERTIFICACIÓN .....	i
DERECHOS INTELECTUALES .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
INDICE .....	v
INDICE DE CUADROS .....	viii
INDICE DE GRÁFICOS .....	ix
RESUMEN .....	xi
SUMMARY .....	xii
CAPITULO I .....	1
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Antecedentes de la Investigación .....	1
1.2 Planteamiento del Problema .....	4
1.3 Formulación del Problema.....	5
1.4 Sistematización del Problema.....	5
1.5 Justificación .....	5
1.6 Objetivos.....	6
1.6.1 Objetivo General.....	6
1.6.2 Objetivos Específicos .....	6
1.6.3 Hipótesis .....	6
CAPITULO II .....	7
2. MARCO DE REFERENCIA.....	7
2.1 La Quinoa .....	7

2.2.1	Historia de la quinua.....	7
2.2.2	El valor nutricional de la quinua.....	8
2.2.3	Variedades .....	10
2.2.4	Usos de la quinua.....	11
2.3	Proceso de secado .....	11
2.3.1	Factores en el proceso de secado .....	14
2.3.1.1	Temperatura del aire .....	14
2.3.1.2	Humedad relativa del aire .....	14
2.3.1.3	Velocidad del aire .....	14
2.3.1.4	Tiempo de Secado .....	15
2.4	Simulación Matemática del Proceso de secado .....	15
2.4.1	Modelos Matemáticos.....	16
2.4.1.1	Modelo de Page .....	17
2.4.1.2	Modelo de Giner y Calvelo .....	17
2.4.1.3	Modelo Thompson.....	18
2.4.1.4	Modelo de Zahed y Epstein .....	19
2.4.1.5	Modelo MSU (Michigan State University) .....	21
2.4.1.4	Otros Modelos .....	22
2.5	Mecanismos de secado .....	23
2.6	Operaciones de secado.....	24
2.7	Energía Solar .....	24
2.7.1	Usos de la Energía Solar.....	25
2.7.2	Constante Solar.....	25
2.7.3	Formas y medidas de la radiación .....	26
2.7.4	Radiación Solar que llega a la tierra .....	26
2.8	Clasificación de secadores.....	27
2.9	Tipos de secadores.....	28
CAPITULO III.....		30
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
3.1	MATERIALES .....	30
3.1.1	Materia prima .....	30
3.2	EQUIPOS .....	32
3.2.1	Secador de Bandeja con aire forzado .....	32

3.2.2	Secador solar tipo Invernadero .....	33
3.2.3	Instrumentos de medida.....	33
3.3	METODOLOGÍA.....	35
3.3.1	Método y diseño de la Investigación .....	35
3.3.2	Determinación del contenido de humedad .....	35
3.3.3	Toma de muestra .....	35
3.3.4	Proceso de secado experimental .....	36
CAPITULO IV .....		39
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	39
4.1	Modelamiento experimental .....	39
4.1.1	Propiedades de la quinua .....	39
4.1.2	Resultados secador de bandejas.....	39
4.1.3	Resultados secador solar.....	42
4.1.4	Determinación del modelo matemático .....	45
4.2	Análisis e interpretación de resultados .....	58
4.2.1	Resultado del secador de bandejas .....	58
4.2.2	Resultado del secador Solar.....	59
4.2.3	Comparación entre los dos secadores .....	60
4.2.4	Rendimiento de secado .....	62
4.3	Validación de la Hipótesis de investigación mediante el método de Prueba de Hipótesis para dos muestras.....	64
4.3.1	Formulación de la Hipótesis .....	64
4.3.2	Estadístico de Prueba para la diferencia entre dos medias muestrales .....	65
CONCLUSIONES .....		69
RECOMENDACIONES.....		70
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

## INDICE DE CUADROS

<b>Tabla 1-2</b>	Clasificación Taxonómica de la Quinua.....	9
<b>Tabla 2-2</b>	Composición Nutricional variedad INIAP Tunkahuan .....	9
<b>Tabla 3-2</b>	Composición Química de la Quinua: (100g de producto).....	10
<b>Tabla 4-2</b>	Quinua Ecuador .....	11
<b>Tabla 5-2</b>	Modelos matemáticos para la descripción de curvas de secado .....	23
<b>Tabla 1-3</b>	Parámetros y valor nutricional de la muestra de quinua.....	31
<b>Tabla 2-3</b>	Diseño experimental del secado de quinua. Bloques experimentales .....	37
<b>Tabla 1-4</b>	Propiedades Fisicoquímicas de la Quinua .....	39
<b>Tabla 2-4</b>	Datos experimentales (1) secado de quinua en el secador de bandejas.....	39
<b>Tabla 3-4</b>	Datos experimentales (2) secado de quinua en el secador de bandejas.....	40
<b>Tabla 4-4</b>	Datos experimentales (3) secado de quinua en el secador de bandejas.....	41
<b>Tabla 5-4</b>	Datos experimentales (4) secado de quinua en el secador solar.....	42
<b>Tabla 6-4</b>	Datos experimentales (5) secado de quinua en el secador solar.....	43
<b>Tabla 7-4</b>	Datos experimentales (6) secado de quinua en el secador solar.....	44
<b>Tabla 8-4</b>	Valores de las constantes empíricas de los modelos de secado Secador de bandejas.....	45
<b>Tabla 9-4</b>	Valores de las constantes empíricas de los modelos de secado Secador tipo invernadero .....	51
<b>Tabla 10-4</b>	Resultados estadísticos obtenidos para 4 modelos – Secador de bandejas .....	56
<b>Tabla 11-4</b>	Resultados estadísticos obtenidos para 4 modelos – Secador solar .....	57
<b>Tabla 12-4</b>	Resultados estadísticos de rendimiento de secado – Secador de bandejas .....	62
<b>Tabla 13-4</b>	Resultados estadísticos de rendimiento de secado – Secador Solar .....	63
<b>Tabla 14-4</b>	Resultados estadísticos de los dos secadores.....	64
<b>Tabla 15-4</b>	Resultados estadísticos de los dos secadores.....	65
<b>Tabla 16-4</b>	Resultados Prueba de Hipótesis t .....	67

## INDICE DE GRÁFICOS

<b>Figura 1-2</b>	Planta de Quinua .....	8
<b>Figura 2-2</b>	Curva de secado .....	12
<b>Figura 3-2</b>	Curva de velocidad de secado .....	13
<b>Figura 1-3</b>	Anatomía del grano de quinua .....	30
<b>Figura 2-3</b>	Quinua con cascara .....	32
<b>Figura 3-3</b>	Secador de Bandeja .....	32
<b>Figura 4-3</b>	Secador Tipo Invernadero .....	33
<b>Figura 5-3</b>	Balanza Mettler Toledo ME204.....	33
<b>Figura 6-3</b>	Balanza Digital de 0.01 a 300 G .....	34
<b>Figura 7-3</b>	Anemómetro digital .....	34
<b>Figura 8-3</b>	Digital Thermometer & Hygrometer KT-907.....	35
<b>Figura 1-4</b>	Curva % Humedad base húmeda vs Tiempo (secador de bandejas).....	42
<b>Figura 2-4</b>	Curva % Humedad base húmeda vs Tiempo (Secador solar).....	45
<b>Figura 3-4</b>	Comparación curvas de secado experimental con algunos modelos matemáticos en el secador de bandejas a 30°C (Muestra 1) .....	46
<b>Figura 4-4</b>	Comparación curvas de secado experimental con algunos modelos matemáticos en el secador de bandejas a 30°C (Muestra 2) .....	47
<b>Figura 5-4</b>	Comparación curvas de secado experimental con algunos modelos matemáticos en el secador de bandejas a 30°C (Muestra 3) .....	47
<b>Figura 6-4</b>	Comparación curvas de secado experimental con algunos modelos matemáticos en el secador de bandejas a 40°C (Muestra 1) .....	48
<b>Figura 7-4</b>	Comparación curvas de secado experimental con algunos modelos matemáticos en el secador de bandejas a 40°C (Muestra 2) .....	48
<b>Figura 8-4</b>	Comparación curvas de secado experimental con algunos modelos matemáticos en el secador de bandejas a 40°C (Muestra 3) .....	49
<b>Figura 9-4</b>	Comparación curvas de secado experimental con algunos modelos matemáticos en el secador de bandejas a 60°C (Muestra 1) .....	49
<b>Figura 10-4</b>	Comparación curvas de secado experimental con algunos modelos matemáticos en el secador de bandejas a 60°C (Muestra 2) .....	50
<b>Figura 11-4</b>	Comparación curvas de secado experimental con algunos modelos matemáticos en el secador de bandejas a 60°C (Muestra 3) .....	50

<b>Figura 12-4</b>	Comparación curvas de secado experimental con algunos modelos matemáticos en el secador solar día 1 (Muestra 1) .....	51
<b>Figura 13-4</b>	Comparación curvas de secado experimental con algunos modelos matemáticos en el secador solar día 1 (Muestra 2) .....	52
<b>Figura 14-4</b>	Comparación curvas de secado experimental con algunos modelos matemáticos en el secador solar día 1 (Muestra 3) .....	52
<b>Figura 15-4</b>	Comparación curvas de secado experimental con algunos modelos matemáticos en el secador solar día 2 (Muestra 1) .....	53
<b>Figura 16-4</b>	Comparación curvas de secado experimental con algunos modelos matemáticos en el secador solar día 2 (Muestra 2) .....	53
<b>Figura 17-4</b>	Comparación de las curvas de secado experimental con algunos modelos matemáticos en el secador solar día 2 (Muestra 3) .....	54
<b>Figura 18-4</b>	Comparación curvas de secado experimental con algunos modelos matemáticos en el secador solar día 3 (Muestra 1) .....	54
<b>Figura 19-4</b>	Comparación curvas de secado experimental con algunos modelos matemáticos en el secador solar día 3 (Muestra 2) .....	55
<b>Figura 20-4</b>	Comparación curvas de secado experimental con algunos modelos matemáticos en el secador solar día 3 (Muestra 3) .....	55
<b>Figura 21-4</b>	Comparación curvas de secado experimental secador de bandejas .....	59
<b>Figura 22-4</b>	Comparación de las curvas de secado experimental secador solar .....	59
<b>Figura 23-4</b>	Comparación del secado muestra 1 en los dos secadores .....	60
<b>Figura 24-4</b>	Comparación del secado muestra 2 en los dos secadores .....	61
<b>Figura 25-4</b>	Comparación del secado muestra 3 en los dos secadores .....	61
<b>Figura 26-4</b>	Peso promedio de la quinua en los dos tipos de secadores .....	62
<b>Figura 27-4</b>	Tallos y Hojas de los P.P. de los dos secadores .....	66
<b>Figura 28-4</b>	Prueba de hipótesis t.....	67
<b>Figura 29-4</b>	Datos básicos de un secador de bandejas - China .....	68

## RESUMEN

El presente trabajo “Análisis Estadístico Exploratorio de dos Tipos de Secado de Quinua” permite realizar una validación estadística del tipo de secador que posea una alta eficiencia, rendimiento en el secado de este tipo de cereal (*Chenopodium quinoa Willd*). Para el efecto se empleó el secador de bandejas y un secador solar tipo invernadero, el experimento se llevó a cabo con tres tipos de muestras, una con cascara y las otras escarificadas. La quinua fue sometida a un secado a tres diferentes temperaturas 30, 40 y 60 °C en el secador de bandejas a una velocidad de aire de 1.85 m/s, en cambio en el secador solar se lo realizó en tres días diferentes en los cuales la irradiación solar tenía una media de 4.64 (kWh/m<sup>2</sup>/d). Con los resultados obtenidos se realizó una regresión lineal con R<sup>2</sup> entre 0.95 a 0.99 siendo el modelo más cercano el de Page y Henderson and Pabis. Evaluados los resultados de los dos tipos de secadores se encontró que tiene mejor rendimiento el de bandejas cuando se trabaja a temperaturas superiores a los 40 °C. Se sugiere realizar un estudio de la cinética del secado de la quinua con un análisis nutricional del producto tras el secado como el de germinación.

**PALABRAS CLAVES:** <QUINUA [*Chenopodium quinoa Willd*]> , <SECADO DE QUINUA> , <ANÁLISIS ESTADÍSTICO>, <T-Student [PRUEBA DE HIPÓTESIS]>, <AJUSTE DE CURVAS>, <REGRESIÓN LINEAL [R<sup>2</sup>]>, <RENDIMIENTO DE SECADORES>

## SUMMARY

This paper "Analysis statistical exploration of two types of drying of quinoa" allows performing validation statistical type dryer having a high efficiency, performance in this type of cereal drying (*Chenopodium quinoa* Willd). Dryer trays and a solar dryer greenhouse were used for the effect; the experiment was conducted with three types of samples, one with shell and other scarified. Quinoa was subjected to drying at three different temperatures 30, 40 and 60 °C into the dryer trays at a speed of air of 1.85 m/s, however in the dryer solar carried out on three different days in which the solar irradiation had an average of 4.64 (kWh/m<sup>2</sup>/d), with the results obtained was performed a linear regression with R<sup>2</sup> between 0.95 to 0.99 being the nearest model Page and Henderson and Pabis. Evaluated the results of the two types of dryers was found having better performance the trays when working at temperatures above 40 ° C. It is suggested to conduct a study of the kinetics of drying of the quinoa with a nutritional analysis of the product after drying as the germination.

**KEY WORDS:** <QUINUA [*Chenopodium quinoa* Willd]> , < DRYING QUINUA> , < STATISTIC ANALYSIS >, <T-Student [HYPOTHESIS TESTING]>, <CURVE FITTING>, <LINEAR REGRESSION [R<sup>2</sup>]>, <DRYING PERFORMANCE>

# CAPITULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes de la Investigación

Desde la antigüedad el hombre guarda sus cultivos de cereales y granos, ya sea para el consumo propio o para la siembra en la próxima estación, por lo que ha ido creando procedimientos que permitan conservar el mayor tiempo.

Varios autores como Bakker-Arkema et al. (1974), Zahed, A. H., & Epstein, N. (1992), Thompson, et al (1968), Pérez, C. (2000) entre otros han realizado trabajos sobre el modelado cinético del secado de diferentes granos, los mismos que han permitido tener los parámetros apropiados para el diseño y construcción de secadores que permitan secar los granos en forma industrial aumentando el tiempo de vida de estos.

El problema fundamental radica en la dificultad para el modelado de la transferencia de calor y materia del sistema grano-aire, por tal motivo al momento del diseño de secadores se da pérdidas económicas por un excesivo consumo de combustible y daños al grano, debido al deficiente secado sea por deterioro físico o germinación.

En Ecuador desde la década de los 80s se ha mantenido una tendencia creciente en el cultivo de Quinoa, ya que se ha difundido las cualidades nutricionales que posee tanto en el mercado nacional e internacional, la empresa “Latinreco” que es orientada a la Investigación y Desarrollo ha permitido que el Ecuador (1992) tenga una producción total de más de 1000 toneladas.

Dentro de la literatura analizada se tiene trabajos como el presentado por (Reátegui, C., Garay R. y Mendieta O. 2014) en el IV Congreso Nacional de Investigación, con el tema “Modelado de la cinética de secado de semillas de maíz amarillo duro” que indica la existencia de el modelado de la cinética para frutas y de vegetales, utilizar diferentes modelos como el propuesto por: Lewis, Page, Page modificado, Henderson–Pabis, Fick simplificado y Page modificado.

Existe un estudio sobre la “Modelización de la Cinética de Secado de la Patata cortada en láminas”, indican que se ha modelizado matemáticamente la cinética del secado con aire caliente de la patata cortada en láminas de 2.5 mm mediante experimentación de secado en capa fina con diferentes temperaturas y velocidades de aire, han obtenido una relación entre caudal másico del aire de secado y el coeficiente de transmisión de calor por convección en el primer periodo y para el segundo periodo el uso de la ley de Fick, resolviéndola con una ecuación tipo Arrhenius (López, Virsela & Abril, 1995. pp. 43-48).

En el trabajo presentado por (Mahecha Godoy, 2011) titulado “Determinación de los parámetros para la simulación matemática del proceso de deshidratación de la uchuva (*Physalis Peruviana L.*)”, en su resumen indica “Para ello se evaluó el proceso de deshidratación con aire caliente para dos pre-tratamientos: escaldado, osmodeshidratado y testigo sin ningún tratamiento especial. Como parámetros para la simulación matemática del proceso de deshidratación de la uchuva se determinaron las ecuaciones para el Contenido de Humedad en Equilibrio (CHEq), velocidad de secado, calor latente de vaporización y calor específico del producto. Se evaluaron las propiedades físico-químicas y sensoriales de la uchuva deshidratada antes y después del proceso. Con los resultados obtenidos se realizó la simulación matemática del proceso de deshidratación utilizando el modelo matemático de secado en capa delgada de Roa, modificado para las condiciones del sistema de deshidratación de la uchuva. Se encontró que las mejores condiciones de operación del sistema de deshidratación corresponden a una temperatura del aire de 60°C y una velocidad de aire de 3 m/s para una carga de producto de 13.3 kg/m<sup>2</sup>. Para la obtención de los parámetros de secado se utilizó una cámara experimental de secado diseñada y construida por el Grupo de Investigación en Diseño de Máquinas GIDMAQ de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá y la metodología establecida por el Grupo de Investigación en Postcosecha de productos Agrícolas para la ecuación de velocidad de secado, para la ecuación de contenido de humedad en equilibrio una cámara de secado y para la ecuación de calor específico un calorímetro isoperibólico” (Mahecha Godoy, 2011, p. ix),

En el artículo “Efecto del método de secado y nivel de humedad en la germinación y vigor de semillas de quinua” en su resumen dice: “Se estudió el efecto del método de secado y nivel de humedad en la germinación y vigor de semillas de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*), este estudio se lo hizo en dos fases: Fase I: Tres métodos

y tres tiempos de secado en dos accesiones de quinua. El método M1 (deseCADador tipo campana más silica gel conectada a la bomba de vacío) y M3 (extractor de humedad más silica gel) después de 60 horas, redujeron la humedad de las semillas a 3.64 y 5.69%, respectivamente. Fase II: Efecto de tres tiempos de secado utilizando el M1 y efecto de la temperatura de almacenamiento (4°C y -20°C) en 10 accesiones de quinua. El contenido de humedad se ajustó a regresiones lineales con  $R^2$  entre 0.83 y 0.97; la acceSIón A3 bajó su humedad a 3.48% después de 40 h y las otras accesiones redujeron su humedad entre 3.19 a 3.54% después de 60 h. Con 6 meses de almacenamiento, las accesiones A2 y A10 tuvieron mejor respuesta en la germinación y vigor. Semillas secadas por 40 y 60 h, almacenadas a -20°C presentaron mayores valores de germinación y vigor” (Calle M. et al. 2010, p. 10).

En el trabajo presentado por Lara Elena, Dr. Vega Antonio, Sanders Mariela, Miranda Margarita y Martínez Enrique (2013) titulado Estudio de secado industrial de la quinua cultivada en Chile mencionan que el objetivo del estudio son las isotermas de adsorción y la cinética de secado, han efectuado un estudio del aire y la temperatura de secado sobre propiedades fisicoquímicas y actividades antioxidante. A demás mencionan que el modelo de Iglesias-Chirife tiene un buen ajuste de los datos experimentales de adsorción. Para las curvas de secado el modelo de Page modificado obtuvo el mejor ajuste, el mismo que se ha basado en los test estadísticos aplicados ( $r^2$ , SSE y  $\chi^2$ ). No se ha presentado grandes variaciones en las propiedades fisicoquímicas. En relación a la actividad antioxidante fue mayor en la quinua fresca seguida de las muestras tratadas a 40, 60 y 80°C.

En la “Cinética del secado y propiedades físicas de la quinua y amaranto y calidad de semilla de quinua”, presentado por Eder Stolben Moscon (2015) realiza un análisis sobre el modelo matemático que describe de mejor manera el secado tanto de la quinua como del amaranto a diferentes temperaturas como son 40, 50, 60 y 70 °C; realiza un análisis físico de los granos, y seca las semillas de quinua a 40 °C para luego realizar un estudio de germinación, vigorosidad. Realiza una regresión lineal para obtener el modelo de secado más apropiado para lo cual calcula la razón de humedad del producto (adimensional) esto en base seca, para seleccionar el modelo utiliza el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), la desviación estándar, el error medio relativo, encontrando que los mejores modelos son el de Page, Midilli y Aproximación de difusión para el secado de

la quinua, en cambio para el amaranto los modelos Wang e Singh, Midilli, dos variables y aproximación de difusión.

## **1.2 Planteamiento del Problema**

En el país la producción de Quinua ha aumentado, debido a que es un producto de alto contenido nutricional, saludable y que sirve para muchas recetas culinarias, por tal motivo se está posicionando a nivel mundial sobre todo en los Estados Unidos de Norteamérica y Europa.

De acuerdo al Plan Nacional del Buen Vivir, a la soberanía alimentaria se tiene que la quinua es un producto de alto poder nutricional que por sus bondades está resurgiendo en la dieta de los ciudadanos ecuatorianos y en el mundo; en la actualidad según fuentes de ERPE (Escuelas Radiofónica populares del Ecuador, 2010) se tiene que en la provincia de Chimborazo el cultivo de este producto se lo realiza en forma orgánica (sin uso de químicos), encontrando algunos problemas concernientes al secado de la misma tras su cosecha.

En la provincia de Chimborazo, principalmente en la zona de Colta y Cajabamba se cultiva la quinua y la misma es secada al sol por los agricultores, en otros casos ERPE le da el proceso de conservación y comercialización. En nuestro País no existe una valoración sobre el proceso de secado de la quinua, no se ha validado la calidad del producto tras el secado, el tipo de secado, el rendimiento y rentabilidad de implementación de instrumentos para el secado, ya sea este al aire natural o por aire forzado.

En la actualidad muchas de las organizaciones indígenas se hallan en un proceso de continua mejora en los procesos de producción de la quinua (*Chenopodium quinoa willd*), y cada vez se extiende su cultivo por lo que requieren de mejoras en el secado y conservación de la misma, evitando las pérdidas por tener que secarlas en la misma planta sea por acción del viento o por las aves, también atrasando las labores de labranza para el abonado y la próxima cosecha.

Como la quinua debe ser almacenada esta debe contar con ciertas características para su conservación por lo que el contar con información suficiente de la forma del

comportamiento que tiene su secado (estadísticas – curva del secado) y al modelo matemático que se aproxima más, permitirá el diseño e implementación de secadores sean de tipo solar o aire forzado.

Por lo que el presente trabajo busca por medio de una técnica estadística se valide uno de los procesos de secado, es decir cuál es más eficiente, rendimiento y en un trabajo posterior tanto por el consumo de energía como de la calidad del producto.

### **1.3 Formulación del Problema.**

¿Estadísticamente se puede validar la eficiencia del proceso de secado de la quinua por aire natural versus el de aire forzado?

### **1.4 Sistematización del Problema**

¿Existe una validación estadística de los diversos procesos de secado de la quinua?

¿Existe una determinación estadística de cuáles son los parámetros termodinámicos que influyen con mayor importancia en los procesos de secado de la quinua?

¿Existe una cuantificación estadística que determine cuál de los procesos de secado es más eficiente en consumo energético y calidad del producto?

### **1.5 Justificación**

Desde la antigüedad se ha tratado de conservar los granos (gramíneas), con la finalidad de disminuir la acción microbiana, la masa de los mismos así como de su volumen. Para el secado los factores que los pueden influenciar son: velocidad, temperatura del aire, densidad de carga, difusión del agua a través del material, forma y tamaño del grano a secar.

El estudio estadístico se constituirá en un valioso aporte para la determinación de los mejores procesos de secado, fortaleciendo a las organizaciones campesinas para su implementación de tal forma que mejoren los tiempos que son utilizados para el secado de la quinua obteniendo de esta manera un mejor beneficio económico. Al dotar con los diferentes parámetros del secado de la quinua, se puede experimentar con diferentes variantes de los secadores en busca de un secador que sea factible desde el punto de

vista económico, rápido y que no altere las características morfológicas de este producto.

Al contar en la ESPOCH con carreras que pueden implementar un secador se cree que el presente trabajo se constituirá en un aporte significativo no solo en ampliar la visión del secado de este producto sino también el contribuir en el proceso que lleva cabo el gobierno en la soberanía alimentaria y en la independencia tecnológica.

## **1.6 Objetivos**

### **1.6.1 Objetivo General**

Analizar estadísticamente el método de aire forzado y secado de forma natural para el secado de quinua.

### **1.6.2 Objetivos Específicos**

- Determinar los parámetros y características requeridas para el secado de la quinua.
- Analizar estadísticamente el método de secado natural o el método de aire caliente forzado que mejor se ajuste a las características del secado de quinua.
- Realizar un análisis exploratorio de los datos obtenidos, para determinar cuál de los tipos de secado es el mejor.

### **1.6.3 Hipótesis**

El método para el secado de quinua de tipo forzado es más eficiente que el método de secado de forma natural.

## CAPITULO II

### 2. MARCO DE REFERENCIA

#### 2.1 La Quinoa

La quinoa (*Chenopodium quinoa willd*) es una planta herbácea identificada comúnmente como pseudogramínea (pseudocereal), es un cultivo de origen andino que se siembra en la sierra central del Ecuador fundamentalmente en las provincias de Cañar, Azuay, Chimborazo, Cotopaxi, Tungurahua y Bolívar, se la suele cultivar entre los 2300 y 3700 metros sobre el nivel del mar (Peralta, 2009, pp.1-8).

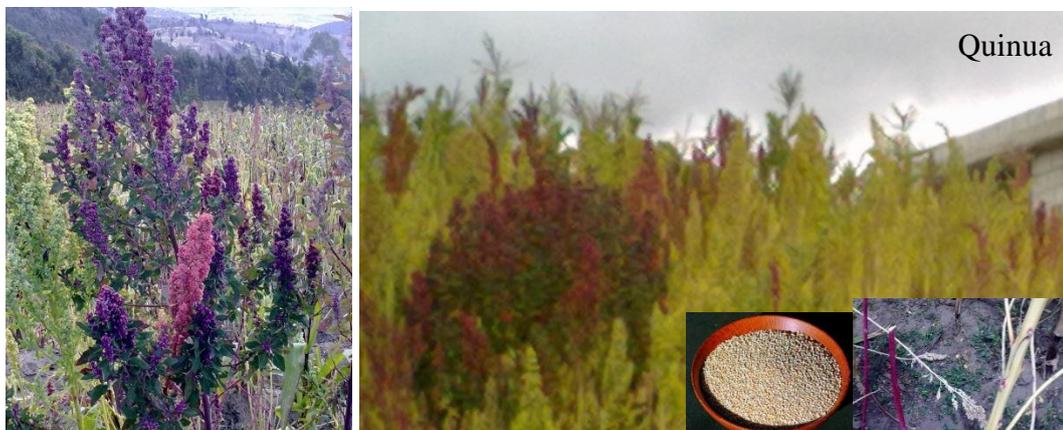
##### 2.2.1 Historia de la quinoa

“Es un cultivo muy antiguo de los andes, en 1970 el historiador Núñez indica que al norte de Chile en un complejo Arqueológico, encontró granos de quinoa que datan de 3000 años a.c., Max Hule en 1919, historiador peruano indica que la quinoa tiene una antigüedad de 5000 años a.c., en forma general, podemos indicar que en los diferentes lugares donde se han encontrado estos granos de quinoa al ser analizados mediante el C.14 ratifican esta antigüedad. La singularidad encontrada es que mientras más antigua sea la semilla, se encontrara un mayor porcentaje de semillas de quinuas silvestres o ayaras (grano negro), lo que indica que el proceso de selección ha tenido varios siglos para poder lograrse una variedad” (León Hanco, 2003).

Se atribuye su origen a la zona andina del Altiplano Perú-boliviano, por estar caracterizada por la gran cantidad de especies silvestres y la gran variabilidad genética, principalmente en eco tipos, reconociéndose cinco categorías básicas: Quinoa de los valles, altiplánicas, de los salares, al nivel del mar y sub-tropicales.

En Ecuador según Estrella, E. (1998), la quinoa fue muy apreciada por sus cualidades alimenticias y medicinales, los Cañarís lo cultivaban por el siglo XVI, tras la conquista de los pueblos aborígenes por los españoles estos en 1549 dispusieron que la vendieran en los tambos. Vásquez de Espinoza que recorrió el Ecuador en 1614 indica que en

Chimbo “hay también quinua que es una yerba parecida a los cenizos de España, la semilla es menudita, como mostaza, pero su color blanco; de ella hacen buenos guisados, como panetelas y mazamorras de mucho regalo y sustento”.



**Figura 1-2** Planta de Quinoa  
Elaborado por: Angel Mena, 2015

En el siglo XVIII, Juan de Velasco (1946: I: 95) distingue dos tipos de quinua: a) Blanca, cuyo grano es menudo, redondo, chato, sin piel; se cultiva en sementeras grandes de tierras frías “se come como el arroz, de buen gusto fresco”; y b) Colorada, de grano muy menudo y redondo, cuyo único uso es comerlo tostado, porque revienta y se esponja mucho y es de bello gusto”. En los actuales tiempos en 1976 se cultivaban la quinua en las áreas de Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Chimborazo y Loja. En 1982 con la creación del INIAP se promueve el cultivo de la quinua y de varias variedades por lo que en estos tiempos se ha aumentado su consumo y su producción. (Peralta, E. 2009)

### **2.2.2 El valor nutricional de la quinua**

La Fundación Escuelas Radiofónicas Populares Ecuatorianas (ERPE) con sede en Riobamba, Chimborazo, Ecuador, viene impulsando la producción orgánica certificada de quinua por más de una década, con centenares de pequeños productores, cuya cosecha está destinada a la exportación. ERPE dispone de tecnología de manejo orgánico.

Álvarez, M. (1977). “En el campo de la nutrición la quinua tiene especial significado ya que tiene un aporte significativo de proteínas y calcio. Sabemos que el valor nutritivo

está dado por el porcentaje de proteínas y por la utilidad que presta al organismo especialmente en la síntesis de tejidos nuevos. La quinua constituye uno de los principales componentes de la dieta alimentaria de la familia de los Andes, fue base nutricional en las principales culturas americanas.” En la Tabla 1-2 se aprecia la taxonómica de la quinua.

**Tabla 1-2** Clasificación Taxonómica de la Quinua

Reino:	Vegetal
División:	Fanerógamas
Clase:	Dicotiledóneas
Subclase:	Angiospermas
Orden:	Centropermales
Familia:	Chenopodiaceae
Género:	Chenopodium
Especie:	Chenopodium quinua Willdenow

Fuente: REVELO, A. (2011)

En la Tabla 2-2 se resume el valor nutricional de una variedad de la quinua según el estudio realizado por el INIAP de Ecuador.

**Tabla 2-2.** Composición Nutricional variedad INIAP Tunkahuan

COMPOSICIÓN NUTRICIONAL <sup>a</sup>		CONTENIDO DE AMINOACIDOS <sup>1</sup> mg/g muestra		CONTENIDO DE ACIDOS GRASOS <sup>2</sup> %	
Energía (Kcal/100 g)	453.08	Ácido aspártico	11.8	Cáprico C10:0	--
Humedad (%)	13.7	Serina	5.8	Láurico C12:0	--
Proteína (%)	13.9	Ácido glutámico	21.4	Mirístico C14:0	Trazas
Grasa (%)	4.95	Prolina	4.6	Palmítico C16:0	11.49
Carbohidratos (%)	66.73	Treonina*	5.1	Estéarico C18:0	Trazas
Cenizas (%)	3.70	Glicina	18.2	Oleico C18:0	27.01
Fibra (%)	8.61	Alanina	6.5	Linoleico C18:2	56.8
Calcio (%)	0.18	Valina*	6.4	Linolénico C18:3	4.7
Fósforo (%)	0.59	Metionina*	1.5		

Magnesio (%)	0.16	Isoleucina*	5.2
Potasio (%)	0.95	Leucina*	8.6
Sodio (%)	0.02	Fenilalanina*	5.7
Cobre (ppm)	10.0	Lisina*	7.4
		Arginina	8.0
		Tirosina	4.4
		Histidina	3.9
		Cisteína	1.5

Fuente: <sup>a</sup> Vaca, D (2008)

\* Aminoácidos esenciales

<sup>1,2</sup> Laboratorio de Nutrición y Calidad INIAP, 2006

Referente a la composición química de la quinua, Tabla 3-2 se tiene que Huaraca, R. (2012) indica que un alimento es valorado por su naturaleza química, por las transformaciones que sufre al ser ingerido y por los defectos que produce en el consumidor. La quinua constituye uno de los principales componentes de la dieta alimentaria de la familia de los Andes, fue base nutricional en las principales culturas americanas (Peralta, et al., 2012). El contenido nutritivo de la quinua, lo convierte en un alimento óptimo tanto para niños como para mayores. (Tabla 2-2)

**Tabla 3-2** Composición Química de la Quinua: (100g de producto)

<b>Calorías</b>	351 Kcal
<b>Humedad</b>	9.40 – 13 %
<b>Carbohidratos</b>	53.50 – 74.30 g
<b>Fibra</b>	2.10 – 4.90 g
<b>Grasa Total</b>	5.30 – 6.40 g
<b>Proteínas</b>	16 – 23%
<b>Saponinas</b>	0.06%

Fuente: HUARACA, R. (2011)

### 2.2.3 Variedades

A nivel mundial se tiene varias variedades de quinua, en Ecuador podemos apreciar dos variedades (Tabla 4-2).

**Tabla 4-2** Quinua Ecuador

VARIEDAD	ALTURA PLANTA	DÍAS FLORAC.	DÍAS COSECHA	COLOR GRANO	CONTENIDO de SAPONINA	RENDIM. kg/ha (promedio)	ALTITUD ÓPTIMA m
INIAP TUNKAHUAN	150	109	180	Blanco	Bajo (0.06%)	2000	2600-3200
INIAP PATA DE VENADO	75	73	150	Blanco crema	Bajo (0.05%)	1400	3000-3600

Fuente: (Peralta, E., 2009)

#### 2.2.4 Usos de la quinua

Principalmente se la usa en las sopas, al igual que los granos se las tuestan con la finalidad de producir harina; se las usa como cereales, pastas, se las fermenta para obtener cerveza o chicha.

##### *Usos y derivados de la quinua:*

**Quinua en grano:** Bajo la escarificación o lavado de la quinua se elimina la saponina, este producto posee 16% de proteína y no contiene gluten, se la usa en sopas, entradas, platos de fondo, como arroz y es una excelente guarnición para carnes.

**Pastas de quinua:** Es una buena alternativa de alimentación ya que se la suele mezclar con sémola de trigo, obteniendo textura y gusto muy delicado, se utiliza en la elaboración de fideos de pasta corta.

**Harina cruda de quinua:** Es resultado de la molienda de la quinua, tiene un gran valor nutricional. Se emplea en panificación, galletería, repostería.

**Harina tostada de quinua:** Antes de la molienda la quinua es cocida, esta harina se la mezcla con agua fría y azúcar y se sirve como refresco, o con agua hervida, leche y azúcar, como también ser utilizada con frutas.

**Hojuelas de quinua:** Se procesa la quinua tipo avena, la misma es usada para sopas, en el desayuno con leche, para postres y se puede cocer con frutas.

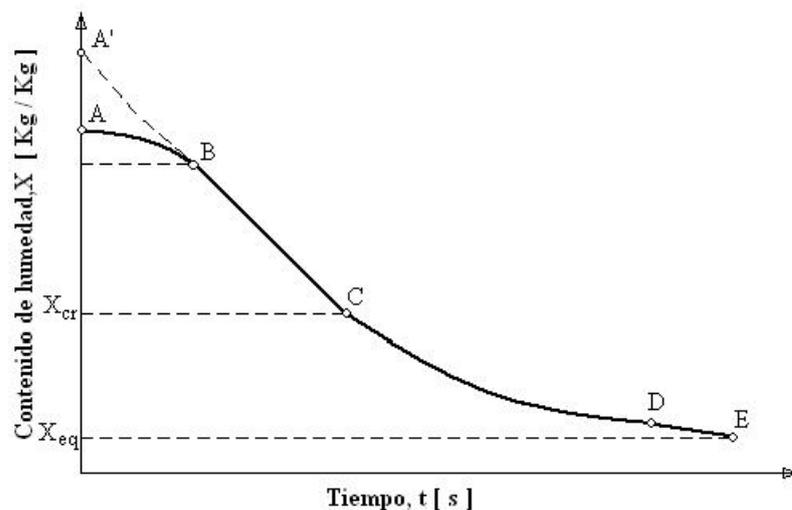
#### 2.3 Proceso de secado

La eliminación del contenido de agua dentro de un producto alimenticio, este proceso tiene dos subprocesos:

1. Transferencia de la humedad interna del sólido hacia la superficie del mismo y su posterior evaporación. Aquí se presenta el movimiento de la humedad en función de la naturaleza física del sólido, su temperatura y su contenido de humedad (agua)
2. Transferencia de energía en forma de calor del ambiente que rodea al sólido para evaporar la humedad de su superficie. En este subproceso se tiene como función de las condiciones externas de temperatura, humedad y flujo de aire, presión, área de exposición y el tipo de secador empleado.

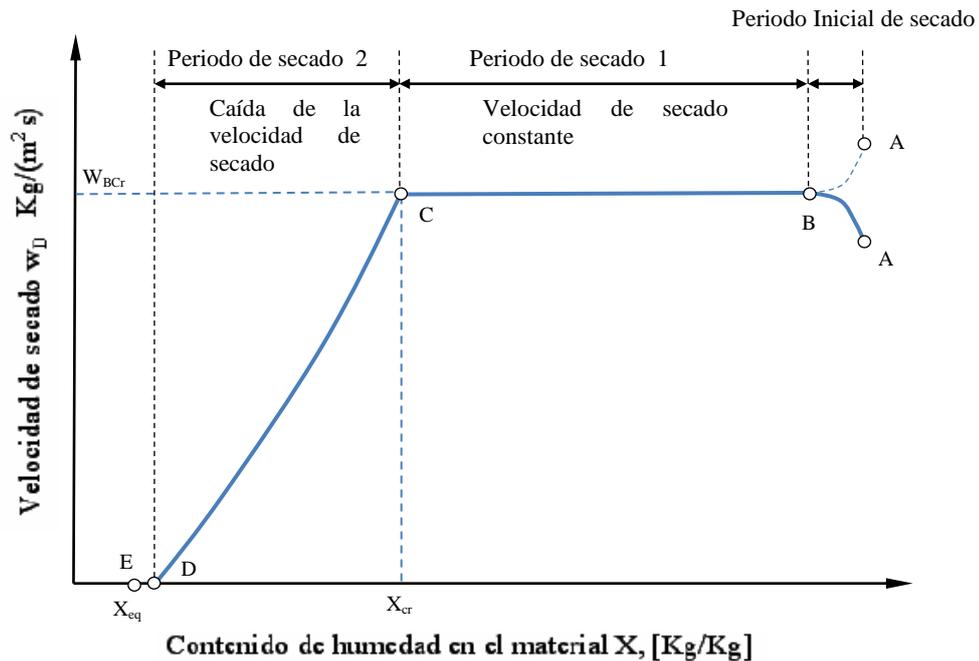
Los subprocesos mencionados son un factor limitante que gobierna la velocidad del secado, por lo que los dos subprocesos ocurren simultáneamente durante el secado, se tiene que el secado es medido como la pérdida de humedad como una función del tiempo.

Se tiene tres periodos en el proceso de secado: en el periodo inicial como se aprecia en la Figura 2-2 la curva A-B, de calentamiento (o enfriamiento) inicial del sólido normalmente de poca duración, la evaporación no es significativa por su intensidad ni por su cantidad. Al terminar este primer periodo el secado toma una forma lineal de tipo  $x = f(t)$ , la velocidad de secado es constante (recta B-C), que se la conoce como el periodo de velocidad de secado constante. El secado se mantiene igual por un periodo de tiempo hasta llegar a un punto crítico (punto C) donde la línea recta tiende a curvarse y a formar una asíntota con el contenido de humedad  $X_{eq}$ , donde es el valor mínimo de humedad en el proceso de secado, en la figura 2-3 es el punto E. A la curva C-E se denomina como el periodo de caída de velocidad del secado (Mujumdar, 2000).



**Figura 2-2** Curva de secado  
Fuente: (Mujumdar, 2000)

## Curva de Velocidad de Secado



**Figura 3-2** Curva de velocidad de secado  
Fuente: (Mujumdar, 2000)

Cuando el contenido de humedad promedio ha alcanzado el contenido crítico de humedad, significa que la capa de humedad de la superficie ha sido casi evaporada.

El contenido final de humedad, determina el tiempo de secado y las condiciones requeridas para el proceso de secado. Las restricciones de temperatura a la cual se lleva a cabo el proceso, resulta debido a la degradación, decoloración, manchado, flamabilidad (provocada principalmente por polvos) y otros factores que afectan al alimento (Mujumdar, 2000).

“La sensibilidad térmica fija la temperatura máxima a la cual la sustancia o alimento puede ser expuesto en el tiempo de secado, esto se debe a que por ejemplo muchos materiales higroscópicos se pudren durante el secado” (Mujumdar, 2000).

Se considera que un proceso de secado es óptimo cuando el tiempo de secado es el mínimo, con un mínimo uso de energía, lo que indica que tiene una relación estrecha con la eficiencia energética del secador empleado (Mujumdar, 2000).

## **2.3.1 Factores en el proceso de secado**

### **2.3.1.1 Temperatura del aire**

Juega un papel importante en los procesos de secado. A mayor temperatura se acelera la eliminación de humedad siempre dentro de los límites posibles. Esto es de acuerdo al tipo de producto a secar, las normas para el mismo, sin perder sus propiedades principales y nutricionales. Existen diversos niveles de temperatura que se mantienen durante el proceso técnico de secado.

**Temperatura de bulbo seco:** Es aquel que se mide con un termómetro de mercurio ordinario, y es la temperatura del medio ambiente.

**Temperatura superficial:** Es la temperatura del objeto a secar, se mide generalmente con un sensor infrarrojo.

**Temperatura de bulbo húmedo:** Es la temperatura de equilibrio dinámico obtenida por una superficie de agua cuando la velocidad de transferencia de calor por convección, a la misma, es igual a la transferencia de masa que se aleja de la superficie. (Perry, 1984).

### **2.3.1.2 Humedad relativa del aire**

La humedad relativa del aire se define como la razón de la presión de vapor de agua presente en ese momento, con respecto a la presión de saturación de vapor de agua a la misma temperatura (Perry, 1984). Generalmente, se expresa en porcentaje (%), a medida que se incrementa la temperatura del aire aumenta su capacidad de absorción de humedad y viceversa.

### **2.3.1.3 Velocidad del aire**

La velocidad del aire es fundamental dentro de un secador ya que el mismo permite transmitir la energía requerida para calentar el agua contenida en el material a secar facilitando su evaporación, y por otra parte el de transportar la humedad saliente del material.

Tiene vital importancia la capa límite del material a secar y la velocidad de aire. Cuanto menor sea el espesor de esta capa límite, más rápida será la remoción de humedad. Se conoce que la forma de la corriente de aire es importante para la velocidad, por lo general es mucho más eficaz una corriente turbulenta que una laminar, ya que la primera afecta en mayor forma la capa límite y el aire. Por lo general se utiliza velocidad de aire entre 1 – 3 m/s (Perry, 1984).

#### **2.3.1.4 Tiempo de Secado**

El tiempo de secado depende del material, esta es una característica importante en la construcción de la curva de secado y se suele separar el tiempo tanto para el primero y segundo periodo de secado. La siguiente ecuación permite obtener el tiempo de secado, la misma que se parte de la definición de la velocidad de secado.

$$\int_0^t dt = -\frac{m_s}{A} \int_{X_1}^{X_2} \frac{dX}{w_D} \quad (1)$$

Donde  $X_1$ ,  $X_2$  son el contenido de humedad desde el tiempo cero al tiempo  $t$ ,  $w_D$  es la velocidad de secado,  $m_s$  es la masa seca y  $A$  es el área de secado.

La fórmula anterior nos permite calcular por separado el tiempo de secado tanto para el periodo constante de secado como para el periodo de caída de secado.

### **2.4 Simulación Matemática del Proceso de secado**

El secado o deshidratación es un proceso simultáneo de transferencia de calor y de masa. (Villamizar & Hernández, 1986). Para reducir la humedad se requiere que el agua sea evaporada en base al aumento de temperatura lo que indica suministrar calor. Los modelos de simulación datan de 1967 y los primeros trabajos fueron hechos en Estados Unidos e Inglaterra, teniendo en cuenta las ecuaciones básicas de transferencia de masa. (Villamizar & Hernández, 1986).

El primer paso en la simulación del secado, es disponer o generar un modelo matemático que permita establecer los principales parámetros que intervienen en el

secado (Moreno, 2008), y el segundo paso es realizar una simulación matemática para un proceso de secado trae como ventajas disminuir costos y ganar tiempo cuando se trata de diseñar sistemas de secado, comparado con la realización experimental del proceso físico (Valderrama, H. 1991).

### **2.4.1 Modelos Matemáticos**

Un modelo constituye una representación que describe simplificada el comportamiento de un fenómeno, experimento o un objeto real. Se constituye en la herramienta principal utilizada en la estadística por su versatilidad de representación de problemas situaciones de la vida.

Los modelos pueden ser representaciones físicas, gráficas y simbólicas o matemáticas. Los modelos físicos se usan principalmente para hacer simulaciones. Se llama simulación a un experimento realizado sobre el modelo de un sistema. Como ejemplos de modelos físicos podemos mencionar el geode, que pone de manifiesto la forma de nuestro planeta y la distribución y forma de los continentes y océanos, un avión a escala que se utiliza en los túneles aerodinámicos para conocer su comportamiento y estabilidad ante diferentes condiciones atmosféricas ahí simuladas; una maqueta, que es la representación a escala de un edificio o construcciones en general, etc.

La probabilidad, por su esencia, requiere del uso de modelos gráficos y matemáticos. Los modelos gráficos los usa para presentar la información y los matemáticos para procesar la misma y hacer inferencias con ella. Por ejemplo, el muestreo es una herramienta que sirve para hacer inferencias. Se tiene una urna con canicas de diferentes colores (población), es posible tomar una parte de la población (muestra) y clasificar las canicas según el color, lo cual dará idea de la forma en que se distribuyen los colores de la población.

Al plantear un problema estadístico, se deben buscar los métodos y procedimientos adecuados para la solución y representarlos mediante un modelo matemático. El éxito que se obtenga dependerá del ajuste del modelo al problema y de que tan bien se puedan deducir soluciones al modelo una vez que este se ha elaborado.

### 2.4.1.1 Modelo de Page

Page, propuso una ecuación para el secado de capa delgada de material, deducida de la ecuación de enfriamiento de Newton, en la que obtenemos la relación de contenido de humedad (MR).

$$MR = \left( \frac{M_t - M_e}{M_i - M_e} \right) = e^{qt^n} \quad (2)$$

Donde: q y n son las constantes del secado que dependen de la temperatura del medio secante y el tipo de material,  $M_t$ ,  $M_e$ ,  $M_i$  son el contenido de humedad a una temperatura en un tiempo t, humedad del medio, humedad inicial respectivamente; q y n pueden ser calculados mediante la ecuación (3) (Page, 1949):

$$\ln \left[ -\ln \left( \frac{M_t - M_e}{M_i - M_e} \right) \right] = \ln q + n \ln t \quad (3)$$

Graficando la ecuación (3) en coordenadas logarítmicas, la relación de humedad con respecto al tiempo, se aprecia una línea recta y a partir de ella se pueden determinar los valores de q y n.

### 2.4.1.2 Modelo de Giner y Calvelo

En su estudio mencionan que al cosechar el trigo este posee una humedad de alrededor del 25%, por lo que es necesario un secado artificial para tener una humedad por debajo del 14%, este proceso se ha llevado a cabo por medio de la técnica de lechos fluidificados.

Para encontrar dichas ecuaciones partieron de la solución del balance microscópico (2<sup>da</sup> ley de Fick) para tiempos cortos, encuentran la derivada del contenido de humedad con respecto al tiempo, de tal forma que resulta una ecuación similar a la que describe el periodo decreciente de secado del modelo de Reay y Allen (1982) (Vizcarra Mendoza, Recio Espinosa, Vázquez Chávez, & Ruiz Martínez, 1998). (Ecuación 4)

Las ecuaciones que proponen para el secado de granos de trigo con control interno de transferencia de masa son:

$$\frac{dM_{\text{prom}}}{dt} = -\frac{(M_o - M_e)a_v D_o}{(1 - Z_1)/B_1 Z_1} \exp\left[-\frac{E_a}{RT_o}\left(\frac{T_o}{T} - 1\right)\right] \quad (4)$$

$$Z_1 = \left(1 - B_1 \pi \frac{M_o - M_{\text{prom}}}{M_o - M_s}\right)^{0.5} \quad (5)$$

$$\dot{m}_A C_{p_A} (T_i - T) - m_B \Delta H \frac{dM_{\text{prom}}}{dt} = m_B C_{p_B} \frac{dT}{dt} \quad (6)$$

Con las condiciones de frontera  $t = 0$ ;  $M = M_o$ ;  $T = T_o$

La ecuación de difusión:  $\text{Def} = 3.75 \times 10^{-5} e^{(-39064/RT)}$

Donde:  $M_o$  es contenido de humedad inicial del grano en base seca (Kg/Kg);  $M_e$  es contenido de humedad del grano en base seca final;  $a_v$  es área superficial por unidad de volumen del grano ( $\text{m}^{-1}$ );  $D_o$  es el término preexponencial ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ( $3.75 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$ );  $E_a$  es la energía de activación (J/Kg) (39.064 J/mol);  $T_o$  es temperatura inicial del lecho ( $^{\circ}\text{K}$ );  $t$  es el tiempo (s);  $T$  es la temperatura del lecho ( $^{\circ}\text{K}$ );  $R$  es constante universal de los gases (8.314 J/mol  $^{\circ}\text{K}$ );  $Z_1$  es la variable en el modelo;  $B_1$  es constante en el modelo;  $M_{\text{prom}}$  es contenido de humedad promedio en el grano en base seca (Kg/Kg);  $\dot{m}_A$  es flujo másico del aire (kg/min);  $C_{p_A}$  es calor específico del aire (J/Kg  $^{\circ}\text{K}$ );  $T_i$  es la temperatura del aire inicial;  $m_B$  es la masa total del grano en el lecho (Kg);  $\Delta H$  es el calor de vaporización de la humedad del grano (J/Kg);  $C_{p_B}$  es el calor específico del grano de trigo (J/Kg  $^{\circ}\text{K}$ ).

### 2.4.1.3 Modelo Thompson

El modelo de Thompson (1968) es un modelo semiempírico, desarrollado para simular el secado de maíz desgranado, se considera la capa gruesa de granos constituida de capas delgadas de 2.5 cm. de espesor por capa. El modelo predice el secado final de la capa de grano mediante el uso de la ecuación de secado en capa delgada, para lo cual se deben considerar las condiciones iniciales del aire y del grano. El balance de calor se completa al predecir las condiciones finales del aire y del grano. El modelo es flexible y permite integrar en él todas las variables y parámetros necesarios para expresar en ecuaciones el proceso de secado. El modelo completo es especialmente útil para el

estudio de los diferentes sistemas de secado (RX razón de humedad, adimensional) y para el diseño de equipos. (Parra-Corronado, Roa-Mejia, & Oliveros-Tascón, 2008)

$$RX = e^{-a - \frac{\sqrt{a^2 + 4bt}}{2b}} \quad (7)$$

### Balance antes del secado

Este se fundamenta en la determinación de la temperatura de equilibrio entre el aire y el grano. La temperatura de equilibrio (Te) se determina a partir de la razón de humedad, temperatura del aire de secado (H y T respectivamente), de la temperatura y el calor específico del grano (Tg y Cp respectivamente).

$$Te = \frac{(0.24 + 0.45H)T + C_p Tg}{0.24 + 0.45H + C_p} \quad (8)$$

### Balance después del secado

Se utilizan las ecuaciones de contenido de humedad de equilibrio y de secado en capa delgada junto con el balance psicométrico del aire de secado el mismo que consiste en determinar la temperatura del aire y del grano (Tf) después de un intervalo de tiempo  $\Delta t$ , considerando el calor latente de vaporización del agua contenida en el grano (L), por efecto del secado el grano habrá pedido humedad ( $\Delta H$ ) fruto de la remoción por el aire, por lo que se tiene la siguiente ecuación:

$$Tf = \frac{(0.24 + 0.45H_o)Te - \Delta H(587.9 + L - Te) + C_p Te}{0.24 + 0.45H_f + C_p} \quad (9)$$

#### 2.4.1.4 Modelo de Zahed y Epstein

En el trabajo realizado por (Zahed & Epstein, 1992) proporcionan un modelo de secado de granos de cereales basado en el equilibrio térmico entre los sólidos en el secador y el aire que sale del mismo. Este modelo matemático hace uso de la segunda ley de Fick para la humedad, la misma que permite ver la variación de la humedad en la superficie de los granos. Se predice satisfactoriamente con este modelo la evolución de la humedad y la temperatura en los granos de cereal utilizados en ese trabajo.

El trabajo de los autores Zahed y Epstein, presentan un conjunto de parámetros como el calor específico, calor de vaporización, difusividad, radio de partícula tanto para arroz, trigo y maíz; las fórmulas que indican son (Vizcarra, M. et. al. 1998):

Modelo

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D_{ef} \left[ \frac{\partial M}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial r^2} + \frac{2 \partial M}{r \partial r} \right] \quad (10)$$

$$M_{prom} = \frac{4\pi}{V_S} \int_0^{R_p} r^2 M(r, t) dr \quad (11)$$

$$m_B (C_{p_B} + M_{prom} C_{p_w}) \frac{dT}{dt} = \dot{m}_A (C_{p_A} + Y_i C_{p_w}) (T_i - T) - \dot{m}_A (Y - Y_i) \Delta H \quad (12)$$

Con las condiciones de frontera

$$t = 0, \quad 0 \leq r \leq R_p$$

$$M = M_o, \quad T = T_o$$

$$t \geq 0, \quad r = 0; \quad \frac{\partial M}{\partial r} = 0, \quad t \geq 0, \quad r = R_p$$

$$\frac{\partial M}{\partial r} = - \frac{\dot{m}_A (Y - Y_i) V_S}{m_B A_S D_{ef}} \quad (13)$$

Con la ecuación de difusión

$$D_{ef} = 0.00767 e^{(-5108/RT)}$$

$$\Delta H = R_v T^2 \left[ \frac{6887}{T^2} + \frac{5.31}{T} + \frac{(1-f)}{f} 2.3008 \times 10^{-5} (M_e)^{2.2857} \right] \quad (14)$$

Donde:  $D_{ef}$  es difusividad efectiva en el grano ( $m^2/s$ );  $C_{p_w}$  es calor específico del agua ( $J/Kg \text{ } ^\circ K$ );  $Y_i$  es contenido de humedad en el aire a la entrada ( $Kg/Kg$ );  $Y$  es contenido de humedad en el aire ( $Kg/Kg$ );  $r$  es posición radial ( $m$ );  $R_p$  es radio total del grano ( $m$ );  $R_v$  es  $R/MMw = 462$  ( $J/Kg \text{ } ^\circ K$ );  $MMw$  es Masa molecular del agua;  $A_s$  es Área superficial del grano ( $m^2$ );  $V_s$  es volumen del grano ( $m^3$ );  $f$  es saturación relativa del aire relacionada con la humedad en equilibrio de los granos.

### 2.4.1.5 Modelo MSU (Michigan State University)

Fue desarrollado por Bakker-Arkema et al. (1974), es un modelo teórico de no-equilibrio que se basa estrictamente en las leyes de transferencia de calor y de masa, este modelo posee el mismo enfoque que el de Thompson, pues calcula las condiciones del aire y del grano en cada incremento de tiempo y espesor de capa realizando cuatro balances: Balance para la entalpía del aire; Balance para la humedad del aire; Balance para la entalpía del grano y Balance para la humedad del grano.

Estos balances originan ecuaciones diferenciales parciales que se resuelven simultáneamente por integración numérica, usando diferencias finitas, a partir de condiciones iniciales y de frontera (Bakker-Arkema et al., 1974). Con éste modelo se puede simular el funcionamiento de secadores estacionarios, de flujo cruzado, de flujos concurrentes y en contracorriente.

#### Balance para la entalpía del aire

Energía que sale = energía que entra - energía transferida por convección

$$\frac{\partial T_a}{\partial x} = \frac{-ha}{G_a C_a + G_p C_v H} (T_a - T) \quad (15)$$

Donde:  $a$  es el área específica del producto ( $m^2/m^3$ ),  $C_a$  es el calor específico del aire ( $kJ / (kg \text{ } ^\circ C)$ ),  $C_v$  es el calor específico del vapor ( $kJ / (kg \text{ } ^\circ C)$ ),  $G_a$  es el flujo másico de aire por unidad de área ( $kg \text{ h}^{-1} m^{-2}$ ),  $G_p$  es el flujo másico de grano por unidad de área ( $kg / (h \text{ m})$ ),  $H$  es la razón de humedad del aire ( $kg \text{ de agua}/kg \text{ de aire seco}$ ),  $h$  es el coeficiente de transferencia de calor por convección ( $kJ / (h \text{ m}^2 \text{ } ^\circ C)$ ),  $T_a$  es la temperatura del aire ( $^\circ C$ ),  $T$  es la temperatura del grano ( $^\circ C$ ),  $x$  es la coordenada dentro de la capa profunda de grano (m).

#### Balance para la entalpía del producto

Energía transferida = cambio en energía interna del producto - energía para evaporación

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{ha}{\rho_p C_p + \rho_p C_w M} (T_a - T) + \frac{h_{fg} + C_v (T_a - T)}{\rho_p C_p + \rho_p C_w M} G_a \frac{\partial H}{\partial x} \quad (16)$$

Donde:  $C_p$  es el calor específico del grano ( $\text{kJ}/(\text{kg } ^\circ\text{C})$ ),  $C_w$  es el calor específico del agua ( $\text{kJ}/(\text{kg } ^\circ\text{C})$ ),  $G_p$  es el flujo másico de grano por unidad de área ( $\text{kg}/(\text{h m})$ ),  $h_{fg}$  es el calor de vaporización ( $\text{kJ}/\text{kg}$ ),  $M$  es el contenido de humedad local o promedio del grano (decimal bs),  $t$  es el tiempo (h).

### **Balance para la razón de humedad del aire**

Humedad transferida = humedad que entra - humedad que sale

$$\frac{\partial H}{\partial x} = \frac{\rho_p}{G_a} \frac{\partial M}{\partial t} \quad (17)$$

### **Ecuación de secado en capa delgada del producto, o de balance de humedad del grano**

Deberá utilizarse una ecuación apropiada de capa delgada, como la siguiente:

$$\frac{\partial H}{\partial t} = f(M, M_e, M_o, T, \dots t) \quad (18)$$

Las ecuaciones anteriores permiten el modelado de simulación para un secador estacionario. La solución de estas ecuaciones se lo realiza en base aproximaciones por diferencias o elementos finitos.

La solución numérica de los modelos MSU requiere conocer las condiciones iniciales y de borde, o contorno, del grano y del aire de secado; dentro de las condiciones iniciales del grano y del aire se tienen: temperatura y contenido de humedad iniciales del grano; temperatura y razón de humedad del aire de secado a la entrada.

#### **2.4.1.4 Otros Modelos**

Generalmente los modelos de secado se pueden clasificar como fenomenológicos y experimentales. Los modelos fenomenológicos son representaciones matemáticas de procesos reales con distintos niveles de descripción que relacionan siempre el carácter del fenómeno, los mismo se presentan en la Tabla (5-2).

**Tabla 5-2** Modelos matemáticos para la descripción de curvas de secado

No. Modelo	Nombre del Modelo	Ecuación del Modelo	Referencias
1	Newton (Lewis o Exponencial)	$MR = \exp(-kt)$	(Panchariya, 2002)
2	Page	$MR = \exp(-kt^n)$	(Doymaz, 2005; Panchariya, 2002; Simal, 1997)
3	Page Modificado	$MR = \exp(-(kt)^n)$	(White, 1978; White, 1981; Overhults, 1973)
4	Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	(Henderson, 1961)
5	Logarítmico	$MR = a \exp(-kt) + c$	(Togrul y Labuza, 2002; Erenturk, 2004; Akgun, 2005)
6	Modelo de dos términos	$MR = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$	(Henderson y Pabis, 1974)
7	Modelo de dos términos modificado	$MR = a \exp(-k_1t) + b \exp(-k_2t) + c$	
8	Difusión de Fick	$MR = a \exp(-c(t/L^2))$	(Diamante y Munro, 1991)
9	Aproximación de difusión	$MR = a \exp(-kt) + (1-a)\exp(-kbt)$	(Yaldiz, 2001)
10	Wang y Shing	$MR = 1 + at + bt^2$	(Wang y Singh, 1978)
11	Page modificado II	$MR = \exp(-c(t/L^2)^n)$	(Diamante y Munro, 1991)
12	Thompson	$MR = \exp(-a - (a^2 + 4bt)^{1/2}/2b)$	(Parra-Corronado, et al., 2008)

**Realizado por:** Angel Mena, 2015

**Fuente:** Varios autores

Donde: MR es la razón de humedad; t es el tiempo de secado en horas; k es la constante de secado; a, b, c y n son Coeficientes de ajuste.

## 2.5 Mecanismos de secado

Existen diferentes mecanismos de secado que describen la transferencia de humedad (Treybal, 2002) en los materiales capilar-porosos de naturaleza biológica como los cereales.

**Flujo capilar.**- La humedad contenida en los intersticios de los sólidos, como líquido en la superficie o como humedad libre en las cavidades celulares, se desplaza por gravedad y capilaridad, a condición de que existan pasadizos para un flujo continuo.

**Difusión del vapor.**- En general las etapas tempranas del secado se gobiernan por fenómenos de capilaridad, posteriormente el fenómeno de difusión controla el proceso y

se lleva en el interior de los capilares, poros y pequeños espacios ocupados por vapor, el cual se difunde hacia el exterior hasta que los capilares se vacían, el vapor se aleja por el movimiento de una corriente de gas. (Pérez, 2000)

## 2.6 Operaciones de secado

Las operaciones de secado pueden clasificarse según sean por lotes o continuas (Treybal, 2002). Así, la operación denominada secado por lotes, generalmente es un proceso donde una cierta cantidad de material húmedo se expone a una corriente de gas que fluye continuamente, en la cual se evapora la humedad. El secado por lotes es una operación relativamente cara; en consecuencia, se limita a operaciones a pequeña escala, a plantas piloto, a trabajos de investigación y para secar materiales valiosos cuyo costo total será poco alterado por el costo agregado en la operación de secado.

En la operación continua, el material que se va a secar y el gas pasan continuamente a través del equipo. Los secadores continuos generalmente se operan en estado estacionario. El secado continuo ofrece las siguientes ventajas: generalmente el equipo necesario es pequeño en comparación con la cantidad de producto, el producto tiene un contenido más uniforme de humedad, y el costo de secado por unidad de producto es relativamente pequeño (Pérez, 2000).

## 2.7 Energía Solar

La Energía solar es la que llega a la Tierra como un haz de luz el mismo que es radiación electromagnética, que surge de los procesos de fusión del hidrógeno que contiene el sol.

Una ventaja de este tipo de energía es no contaminante, un inconveniente que es una fuente intermitente, depende del clima, del número de horas sol al año, su rendimiento energético es bastante bajo.

La cantidad de esta energía fuera de la atmósfera la define la constante solar. En particular, se define como **constante solar** la cantidad de energía que es captada en el espacio fuera de la atmósfera por una superficie de un metro cuadrado en un segundo, a la distancia media de la Tierra al Sol. ( $G = 1\ 353\ \text{W/m}^2$ ) la cual varía en un 0.2% en un

período de 30 años. La intensidad de energía real disponible en la superficie terrestre es menor que la constante solar, siendo alrededor de  $1000 \text{ W/m}^2$ , debido a la absorción y a la dispersión de la radiación que origina la interacción de los fotones con la atmósfera. Esta porción de energía se conoce como ***radiación directa***. (Guevara, S., 2003).

Otra parte de la energía solar que llega a la superficie de la tierra se denomina ***radiación difusa*** que es aquella energía solar reflejada por la atmósfera terrestre, en especial por las nubes. Además, a nivel del suelo se tiene la ***radiación reflejada*** que es parte de la energía reflejada por los objetos terrestres. Por ejemplo, la proveniente de una pared blanca, un charco de agua o un lago, etc. (Guevara, S., 2003).

***Radiación total*** es la suma de las radiaciones directa, difusa y reflejada que se reciben sobre una superficie.

La intensidad de la radiación solar se mide a través de dos parámetros físicos:

**Insolación:** *Energía media diaria ( $\text{Kwh/m}^2 \text{ día}$ )*

**Radiación térmica:** *Potencia instantánea sobre superficie horizontal ( $\text{Kw/m}^2$ )*

### **2.7.1 Usos de la Energía Solar**

Generalmente se la utiliza para calentamiento de agua, secado de productos, fundición, energía eléctrica, etc.

Para cumplir con uno de estos usos se tienen equipos captadores de energía como son los colectores solares, celdas fotovoltaicas, dentro de los colectores tenemos los planos que se los denomina de baja temperatura que trabajan a unos  $100 \text{ °C}$  y los colectores focales que son de temperaturas altas de unos  $3500 \text{ °C}$ .

### **2.7.2 Constante Solar**

Es la cantidad de energía que llega del sol por unidad de tiempo y que incide en una superficie unitaria al borde de la atmósfera terrestre, la superficie unitaria deberá estar ubicada normalmente a los rayos.

$$G = \frac{\text{Energía}}{\text{Tiempo} \times \text{área}} = 1353 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 428 \frac{\text{BTU}}{\text{h ft}^2} = 1.94 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \text{ min}}$$

Variación de la radiación (extraterrestre)

$$G_{\text{normal}} = G \left[ 1 + 0.033 \cos \left( \frac{260n}{365} \right) \right] \quad (19)$$

Donde: n es el número del día del año

### 2.7.3 Formas y medidas de la radiación

Se denomina  $\lambda$  a la radiación que llega a la tierra desde el sol, tenemos 2 formas la directa y la difusa; la difusa por absorción de la radiación por el vapor de agua que permite el paso mayor a  $3.0 \mu$ ; debido a la filtración de la radiación por el ozono que no permite el paso de radiación menor a  $0.3 \mu$ , es decir:  $0.3 \mu \leq \lambda \leq 3.0 \mu$

### 2.7.4 Radiación Solar que llega a la tierra

Lui Jordan propone la siguiente ecuación para calcular la radiación que incide en forma perpendicular ( $G_{\text{normal}}$ ).

$$G_{\text{normal}} = G \tau^m \quad (20)$$

$$0.61 \leq \tau \leq 0.82$$

días oscuros                      días claros

Donde:  $G_{\text{normal}}$  es la radiación que incide en forma perpendicular; G es la constante solar;  $\tau$  es el coeficiente de transmisión de la radiación por unidad de masa de aire; m es la masa relativa de aire, la misma que se calcula con:

$$m = \frac{1}{\cos \theta_z} \quad (21)$$

$\cos \theta_z$  se denomina Zenith y se calcula con:

$$\cos \theta_z = \cos \delta \cos \phi \cos H + \sin \delta \sin \phi$$

$$\delta = \angle \text{ de declinación de la tierra } \rightarrow \delta = 23.45 \left\{ \sin \left[ 360 \left( \frac{284 + n}{365} \right) \right] \right\}$$

$$H = 15 \left( 12 - H_c - 9.87 \sin \frac{360(n-81)}{364} + 7.53 \cos \frac{360(n-81)}{364} + 1. \sin \frac{360(n-81)}{364} - 4(L_{st} - L_{loc}) \right) \quad (22)$$

Donde:

n es el número del día del año

$\phi$  es el ángulo de latitud de la tierra – ángulo formado entre la línea ecuatorial y la recta en un punto cualquiera – Riobamba a  $1^{\circ}38'$  sur (positivo  $\uparrow$ , negativo  $\downarrow$ ), longitud es  $78.633^{\circ}$

H es el ángulo horario =  $15^{\circ}$  (por la mañana el ángulo es positiva; por la tarde el ángulo es negativo)

### Formula de Page

$$G = G_o \left( A + b \frac{n}{N} \right) \quad (23)$$

$A = 0.23966$        $\left\{ \begin{array}{l} \text{coeficiente – constante empírica de corrección} \\ \text{Para Ecuador} \end{array} \right.$

$b = 0.37866$

n es el número promedio de horas de sol diario

N es el número máximo de sol brillante en el día

$G_o$  es la radiación solar extraterrestre

Para Riobamba

$n = 5.6$  h-sol/día brillante

$N = 11.8$  h-sol brillante en un día de agosto

### Formula de Glover

$$G = G_o \left[ 0.29(\cos \phi) + 0.52 \left( \frac{n}{N} \right) \right] \quad (24)$$

$\cos \phi$  = coseno de la latitud (ej.  $42^{\circ}51'$ ) (Castillo & Santibañez, 1981)

## 2.8 Clasificación de secadores

Según Perry & Chilton, (1987) los secadores se clasifican basados en el método de transferencia de calor:

**Secadores Directos.** Son aquellos en los que la transferencia de calor para el secado se obtiene por contacto directo entre los gases calientes y los sólidos húmedos, el secado se realiza por arrastre del líquido vaporizado por acción del gas caliente (Pontiles, Z.,

<https://emiunefmzp.files.wordpress.com/2010/10/secadores-mio32.doc>). Las características de operación de estos secadores son:

- El consumo de combustible es mayor por kilogramo de agua evaporada, mientras más húmedo sea el producto y se desee más bajo el contenido de humedad que se requiera.
- El gas caliente es aprovechado por los sólidos bajo el principio de transferencia de calor, con lo cual separa el vapor.

**Secadores indirectos.** El calor de secado se transfiere al sólido húmedo a través de una pared de retención. El líquido vaporizado se separa independientemente del medio de calentamiento. La velocidad de secado depende del contacto que se establezca entre el material húmedo y las superficies calientes (Pontiles, Z., <https://emiunefmzp.files.wordpress.com/2010/10/secadores-mio32.doc>). Estos secadores difieren de los directos, en la transmisión de calor y la separación del vapor, y sus principales características son:

- Son apropiados para secar a presiones reducidas y en atmósferas inertes, para recuperar disolventes y evitar la formación de mezclas explosivas, para la oxidación de materiales que se descomponen con facilidad.
- La recuperación de polvos y materiales finamente pulverizados se manejan de un modo más satisfactorio en comparación con los secadores directos

## 2.9 Tipos de secadores

De acuerdo a la clasificación de la operación tenemos los siguientes tipos de equipos:

### **Secadores de calentamiento directo.**

#### a) Equipos discontinuos

Secadores de bandejas con corriente de aire

Secadores de cama fluidizada

Secadores de circulación a través del lecho sólido.

#### b) Equipos continuos

Secadores de túnel

Secadores de tipo turbina

Secadores rotatorios.

**Secadores de calentamiento indirecto**

a) Equipos discontinuos

Secadores de bandejas a vacío

Secadores de bandejas a presión atmosférica

Secadores por congelación.

b) Equipos continuos

Secadores de tambor

Secadores con circulación a través del lecho

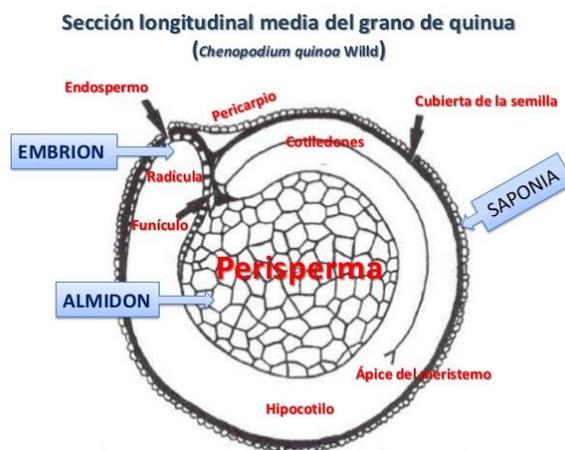
## CAPITULO III

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 MATERIALES

##### 3.1.1 Materia prima

Una vez cosechado el producto es conveniente secarlo hasta alcanzar una humedad entre 10 – 14%, para lo cual se tiene dos tipos de secados, el natural (para este trabajo tipo invernadero) y el artificial (tipo bandejas con aire forzado).



**Figura 1-3** Anatomía del grano de quinua

Fuente: <http://es.slideshare.net/IvanHinojosa1/05-proc-quinua>

Según los datos obtenidos y la literatura se tiene que el secado natural se lleva a cabo colocando el grano en capas finas y exponiéndolos al sol o sombra por un tiempo no mayor a 15 días, volteando el grano cada cierto tiempo, con lo cual se consigue reducir la humedad.

El secado artificial por lo general es utilizado cuando se tiene gran cantidad de granos a ser almacenados o procesados, también se recomienda su uso cuando se trabaja en condiciones atmosféricas desfavorables, en este tipo de método el grano es secado por acción de una corriente de aire previamente calentado.

Para el presente trabajo el producto se lo obtuvo de la tienda de ERPE a su vez es suministrado por SUMAKLIFE, como también por CAMARI, cuyas propiedades se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 1-3** Parámetros y valor nutricional de la muestra de quinua

<b>CAMARI</b>		<b>SUMAKLIFE</b>	
Lugar procedencia: Imbabura, Pichincha, Chimborazo, Carchi, Cotopaxi, Bolívar		Chimborazo (Sectores: Guano, Colta, Guamote)	
Cantidad	500 g	Cantidad	500 g
Tamaño de grano: diámetro 1.82 mm y 1.0 mm de espesor – promedio		Tamaño de grano: diámetro 1.78 mm y 1.0 mm de espesor – promedio	
Información nutricional		Información nutricional	
Tamaño por porción	50 g	Tamaño por porción	45 g
Porciones por envase	10	Porciones por envase	11
Cantidad por porción		Cantidad por porción	
Calorías	55 kcal	Calorías	162
Calorías de grasa	10	Calorías de grasa	20
% valor diario (2000 Cal)		% valor diario (2000 Cal)	
Grasa Total 1 g	2 %	Grasa Total 2g	3 %
Grasa saturada 0 g	0 %	Grasa saturada 0.5 g	3 %
Colesterol 0 g	0 %	Colesterol 0 mg	0 %
Sodio 30 g	1 %	Sodio 5 mg	0 %
Carbohidratos Totales 3 g	1 %	Carbohidratos Totales 29 g	10 %
Fibra dietética 0 g	0 %	Fibra dietética 0.5 g	2 %
Proteínas 8 g		Proteínas 6 g	
Calcio	3 %	Calcio	4 %
Hierro	30 %	Hierro	14 %

**Elaborado por:** Angel Mena, 2015

**Fuente:** Empaque de los productos.

También se realizó el secado con quinua cosechada en la zona de Guano en el sector Tulundo, la misma que se encuentra con cascara.



**Figura 2-3** Quinoa con cascara  
Elaborado por: Angel Mena, 2015

## 3.2 EQUIPOS

### 3.2.1 Secador de Bandeja con aire forzado

Se utilizó un equipo de Operaciones Unitarias de la Carrera de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo, el mismo consta de un cubículo metálico donde se realiza el secado, un sistema de calefacción y un sistema de impulsión de aire. El aire caliente es impulsado por un ventilador que circula por las bandejas en forma uniforme.



**Figura 3-3** Secador de Bandeja  
Fuente: Universidad Nacional de Chimborazo, 2015

### 3.2.2 Secador solar tipo Invernadero

En el presente trabajo se construyó un prototipo de secador tipo invernadero el cual consta de un armazón de madera tipo parabólico, con un primer recubrimiento de plástico en la parte superior con agujeros para que el vapor de agua salga hacia el segundo plástico, en el cual se condensa, cae al piso o sale por un tubo hacia la atmósfera. La quinua es puesta sobre una superficie tipo carpa, no existe interacción en las partes laterales entre el producto a secar y el segundo plástico.



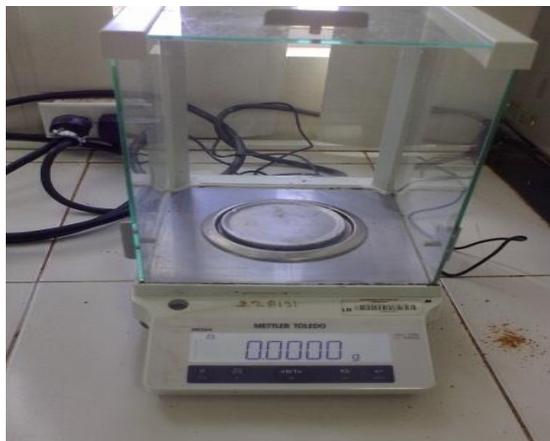
**Figura 4-3** Secador Tipo Invernadero

Fuente: <http://www.agroterra.com/p/invernadero-de-jardn-j-3-3059973/3059973>

### 3.2.3 Instrumentos de medida

#### *Balanza*

Se utiliza una balanza analítica Mettler Toledo ME204 de 220 g de capacidad y una precisión de 0.0001 g., para medir el peso de la quinua antes y después del secado.



**Figura 5-3** Balanza Mettler Toledo ME204

Fuente: Universidad Nacional de Chimborazo

Se usa también una Balanza digital máximo de medición 300g, precisión de 0.01g.



**Figura 6-3** Balanza Digital de 0.01 a 300 G  
Elaborado por: Angel Mena, 2015

### **Anemómetro**

Medidor de la velocidad del viento, para medir las condiciones dentro del invernadero, y a la salida del secador de bandejas, posee las siguientes características:

Velocidad del aire: Rango: de 0 a 30 m / s; Resolución: 0.1 m / s; Umbral: 0.1 m / s; Precisión: + / - 5 %

Temperatura del aire: Rango: de -10 °C a 45 °C; Resolución: 0.2 °C; Precisión: ± 2 °C

Termómetro: Termómetro NTC: Temperatura de funcionamiento: de -10 °C a 45 °C

Humedad de funcionamiento: Menor o igual a 90 % de humedad relativa

Temperatura de almacenamiento: de -40 °C a 60 °C



**Figura 7-3** Anemómetro digital  
Elaborado por: Angel Mena, 2015

### **Termo higrómetro**

Se utilizó un Termo higrómetro digital KT-907 que mide el rango de temperatura interior de -10 °C a 50 °C, temperatura exterior de -50 °C a 90 °C y la humedad interior 20% RH a 99% RH.



**Figura 8-3** Digital Thermometer & Hygrometer KT-907

Elaborado por: Angel Mena, 2015

### **3.3 METODOLOGÍA**

#### **3.3.1 Método y diseño de la Investigación**

En la presente investigación se utilizó el método inductivo ya que a partir de las observaciones sistemáticas de la realidad se descubre la generalización de un hecho, esto dentro de un estudio exploratorio con una experimentación.

#### **3.3.2 Determinación del contenido de humedad**

Se toma las muestras de quinua con cascara y sin cascara y se procedió a determinar el contenido de humedad en estufa a 135 °C por 2 horas (Según el método ASAE S352.2) registrando la pérdida de peso, se usó una balanza analítica Mettler Toledo ME204 (precisión de 0.0001 g).

#### **3.3.3 Toma de muestra**

Se tomaron siete (7) muestras de 20 g para la quinua con cascara y siete (7) muestras parciales de 30 g sin cascara de cada lote de quinua (ERPE, CAMARI). Posteriormente se homogeneizó cada una, se determinó su humedad inicial.

Para la experimentación se utilizó un muestreo probabilístico aleatorio simple según el siguiente criterio: El número de muestras se las toma considerando un error del 5% en la experimentación por lo que del total de 453.5 g y 500 g aproximadamente de la quinua con cascara y las dos escarificadas como universo, se obtuvo aproximadamente 160g y 220g para el estudio en los dos secadores, se obtiene 3 submuestras de 5 g para determinar la humedad inicial después de hidratarlas, y lo restante se repartió dicha cantidad en submuestras de 20g para la quinua con cascara, en cambio para las muestras

escarificadas se repartió en submuestras de 30g, con lo cual se asegura una buena toma de lectura.

### **3.3.4 Proceso de secado experimental**

Para el presente trabajo se experimentó el secado de la quinua, en el secador de bandejas y en el secador solar.

#### **Primer Experimento (Secador de bandejas)**

Las tres muestras se acondicionan hasta alcanzar humedades variable simulando el lavado de la misma por un lapso de 2 minutos, enjuague de 2 minutos y escurrimiento 1 minuto, se determina la humedad inicial secando una muestra de 5 g en la mufla a 135 °C y pesada en la balanza Mettler Toledo ME204, luego las muestras son sometidas al secado a temperaturas de 30, 40 y 60 °C, los tiempos para cada caso son diferentes hasta obtener la humedad media de las mismas (aproximadamente entre 20 y 35%).

Las curvas de secado correspondientes de las tres muestras de quinua en los diferentes tiempos y temperaturas, se las efectuaron aproximadamente cada 10 minutos durante la primera hora, luego cada 30 minutos y 1 hora hasta obtener el resultado deseado (tiempo variable), se determina en cada caso la pérdida de humedad en base húmeda y seca, se mide continuamente la temperatura de entrada, la temperatura en el centro del lecho.

Con el análisis estadístico se determinó la variación de la humedad, se tomó en cuenta el tratamiento, la variedad, la temperatura y contenido de humedad inicial del grano, en función del tiempo para posteriormente realizar un análisis descriptivo de dichas curvas.

#### **Segundo Experimento (Secador Solar)**

Las tres muestras se acondicionaron hasta alcanzar humedades finales variables en base húmeda, simulando el lavado de la misma por un lapso de 2 minutos, enjuague de 2 minutos y escurrimiento 1 minuto, se determina la humedad inicial secando una muestra de 5 g en la mufla a 135 °C y pesada en la balanza Mettler Toledo ME204, luego las muestras son sometidas al secado a temperaturas variables en tres días diferentes, Se midió el tiempo necesario para que las muestras alcancen la humedad media de las mismas (aproximadamente entre 20 y 35%).

Las curvas de secado correspondientes de las tres muestras de quinua en los diferentes tiempos y temperaturas, se las efectuaron cada 10 minutos durante la primera hora, luego cada 30 minutos hasta obtener el resultado deseado (tiempo variable); se determinaron en cada caso la pérdida de humedad en base húmeda y seca. Se mide continuamente la temperatura en la parte inferior del invernadero y la temperatura en el centro del lecho.

Con el análisis estadístico se determinó la variación de la humedad, se tomó en cuenta el tratamiento, la variedad, la temperatura y contenido de humedad inicial del grano en función del tiempo, para posteriormente realizar un análisis descriptivo de las curvas obtenidas.

**Tabla N° 2-3** Diseño experimental del secado de quinua. Bloques experimentales

Variables	Primero		Segundo	
	Niveles	Valores	Niveles	Valores
Variedad	3	Con Cascara SUMAKLIFE CAMARI	3	Con Cascara SUMAKLIFE CAMARI
Temperatura	3	30, 40, 60	3 (días)	Variable (Según día)
% Humedad inicial	3	Variable, según lavado	3	Variable, según lavado
Tiempo	Diversos	Según temperatura	Diversos	Según temperatura

Elaborado por: Angel Mena, 2015

### **Humedad en base húmeda ( $H_{bh}$ )**

Es la relación entre el peso del agua y el peso total de la muestra multiplicado por 100, se la calcula con:

$$H_{bh} = \frac{P_a}{P_t} 100\% = \frac{P_a}{P_a + P_{ma}} 100\% \quad (25)$$

En donde  $P_a$  es el peso del agua,  $P_{ms}$  el peso de la materia seca,  $P_t$  peso total.

### **Humedad en base seca ( $H_{bs}$ )**

Es la relación entre la cantidad de agua y el peso de la materia seca multiplicado por 100, se la calcula con:

$$H_{bs} = \frac{P_a}{P_{ma}} 100\% \quad (26)$$

## Rendimiento de secado

Se calcula la pérdida de peso de la quinua que ha sido secada.

### *Pérdida de peso del grano por pérdida de humedad*

La pérdida de peso del grano depende siempre de la humedad inicial y la humedad final a la que se quiere llevar. El valor se da por la siguiente fórmula y es un dato porcentual:

$$P.P. = \frac{(H_i - H_f)}{100 - H_f} 100 \quad (27)$$

Dónde  $H_i$  es la humedad inicial,  $H_f$  es la humedad final y P.P. es la pérdida de peso del grano por pérdida de humedad.

*Rendimiento*: en kilogramos de agua a evaporar por tonelada de cereal.

$$R_s = \frac{P.P.\% * 1000 \text{ kg / tn}}{100} \text{ En kg agua / tn de cereal} \quad (28)$$

## Análisis estadístico

Los resultados obtenidos del secado de la quinua y el rendimiento del proceso de secado, fueron analizados estadísticamente mediante estadísticos descriptivos como la media, mediana, varianza y contraste de hipótesis como t-student, chi cuadrado, para determinar la existencia de diferencias significativas entre sistemas de secado.

## Procedimiento de la prueba de hipótesis

Previamente debe formularse el problema estadístico, determinar la variable en estudio y el método estadístico adecuado para la solución del problema. El procedimiento general de la prueba de una hipótesis de parámetro  $\theta$  se resume en los siguientes pasos:

(Córdova, M., 2003, p.437)

- 1) Formular la *hipótesis* nula  $H_0: \theta = \theta_0$  y la hipótesis alternativa adecuada  $H_1: \theta \neq \theta_0$  ó  $H_1: \theta > \theta_0$  ó  $H_1: \theta < \theta_0$
- 2) Especificar el tamaño  $\alpha$  del *nivel de significación*.
- 3) Seleccionar la *estadística* apropiada a usar en la prueba.
- 4) Establecer la *regla de decisión*, determinando la región crítica de la prueba.
- 5) *Calcular* el valor del estadístico de la prueba a partir de los datos de la muestra.
- 6) Tomar la *decisión* de rechazar la hipótesis  $H_0$  si el valor del estadístico de la prueba está en la región crítica. En caso contrario, no rechazar  $H_0$ .

## CAPITULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Modelamiento experimental

##### 4.1.1 Propiedades de la quinua

En el siguiente cuadro se presenta las propiedades básicas de la quinua con la que se trabajó en el presente trabajo, se considera al cereal como una superficie circular.

**Tabla 1-4** Propiedades Fisicoquímicas de la Quinua

Tipo	$d_{\text{Promedio}}$ (m)	Espesor (m)	Densidad aparente (Kg/m <sup>3</sup> )	Densidad real (Kg/m <sup>3</sup> )
Con Cascara	0.00160	0.0008	1226.95	1380
SumakLife	0.00175	0.001		(Condorhuamán
Camari	0.00180	0.001		C., 2004)

Elaborado por: Angel Mena, 2015

##### 4.1.2 Resultados secador de bandejas

El experimento se realizó con tres muestras de quinua correspondientes a una con cascara cosechada tres días antes de la experimentación, la otra comprada en la tienda de ERPE correspondiente a la empresa SumakLife y la tercera procedente de Camari. En las Tablas 2-4, 3-4 y 4-4 se presenta los resultados simplificados de los datos obtenidos en cada experimentación agrupado por muestra.

#### MUESTRA 1

**Tabla 2-4** Datos experimentales (1) secado de quinua en el secador de bandejas

Curva de secado de Quinua:	Con cascara	Temperatura de secado:	30, 40, 60°C	
Quinua de:	Sector Tulundo-Guano	Medida del grano:		
Peso de 1 grano:	0.00225 g	a =	1.7	Mm
		b =	1.6	Mm
Peso Promedio de la muestra:	<b>20 g</b>	e =	0.8	Mm
Tiempo Lavado, enjuagado y escurrido:	<b>5 min</b>	Altura Lecho:	1.0 cm	

30 °C			40 °C			60 °C		
Tiempo (min)	Peso (g)	% Humedad Base húmeda	Tiempo (min)	Peso (g)	% Humedad Base húmeda	Tiempo (min)	Peso (g)	% Humedad Base húmeda
0	19.9429	48.8048	0	20.0000	60.4056	0	20.0171	61.4571
10	19.5086	47.3631	10	19.2114	58.7790	10	18.7743	58.8945
20	19.2671	46.7261	20	18.4229	57.0123	20	17.7143	56.4248
30	19.0486	46.1210	33	17.7757	55.4461	30	16.7114	53.8034
40	18.6886	45.0374	46	17.3257	54.2909	44	15.8486	51.2830
50	18.4543	44.3633	59	16.8543	53.0124	56	15.0571	48.7053
60	18.2814	43.8384	70	16.4000	51.7065	68	14.2529	45.7942
70	18.0329	43.0086	90	15.7657	49.7639	83	13.4286	42.4458
89	17.8429	42.3578	112	15.1214	47.6259	155	9.6229	19.5132
114	17.3043	40.5302	259	11.8686	33.0353			
202	15.5329	33.7446	282	11.4343	30.7109			
248	14.7357	30.2096						
284	14.1986	27.5675						
305	13.7657	25.3363						

Elaborado por: Angel Mena, 2015

Fuente: Datos experimentales

## MUESTRA 2

**Tabla 3-4** Datos experimentales (2) secado de quinua en el secador de bandejas

Curva de secado de Quinua:	SUMAKLIFE	Temperatura de secado:	30, 40, 60°C		
Quinua de:	Sector Guamote-Colta-Guano	Medida del grano:			
		a =	1.8	Mm	
Peso de 1 grano:	0.00253 g	b =	1.7	Mm	
Peso Promedio de la muestra:	30 g	e =	1.0	Mm	
Tiempo Lavado, enjuagado y escurrido:	5 min	Altura Lecho:	0.51 cm		

30 °C			40 °C			60 °C		
Tiempo (min)	Peso (g)	% Humedad Base húmeda	Tiempo (min)	Peso (g)	% Humedad Base húmeda	Tiempo (min)	Peso (g)	% Humedad Base húmeda
0	29.9857	33.6617	0	29.9900	33.5631	0	29.9671	31.8348
10	29.5114	32.5856	10	29.1386	31.5748	10	28.5371	28.3865
20	29.2614	32.0098	20	28.1443	29.1551	20	27.4243	25.4764
30	29.0429	31.4974	33	27.5329	27.5791	32	26.4157	22.6240
40	28.6014	30.4398	46	26.9543	26.0222	44	25.5514	19.9968
50	28.4314	30.0240	59	26.4543	24.6217	55	24.7086	17.2526

60	28.2000	29.4478	70	25.9800	23.2433	68	23.7829	14.0194
70	27.9414	28.7926	90	25.2343	20.9692			
89	27.8300	28.5100	112	24.4571	18.4486			
114	27.3671	27.3014						
202	25.8971	23.1750						
248	25.0786	20.6646						
284	24.6029	19.1279						
305	24.1543	17.6203						

**Realizado por:** Angel Mena, 2015

**Fuente:** Datos experimentales

### MUESTRA 3

**Tabla 4-4** Datos experimentales (3) secado de quinua en el secador de bandejas

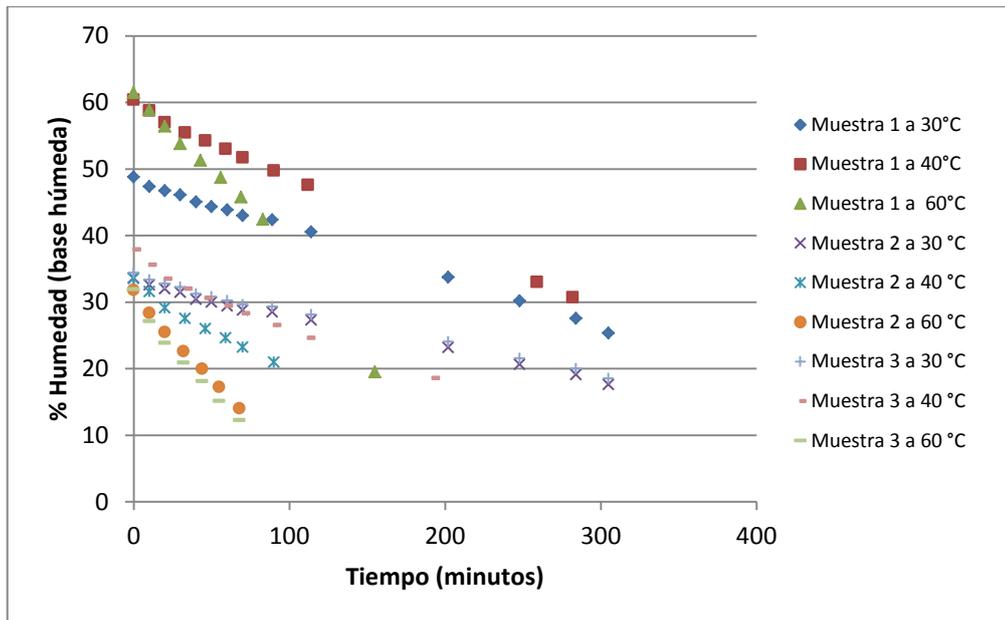
Curva de secado de Quinua:	CAMARI	Temperatura de secado:	30, 40, 60 °C
Quinua de:	Sector: Pichincha, Cotopaxi, Chimborazo	Medida del grano:	
		a = 1.82 mm	0.00283 g
Peso de 1 grano:		b = 1.78 mm	
Peso Promedio de la muestra:	<b>30 g</b>	e = 1.0 mm	
Tiempo Lavado, enjuagado y escurrido:	<b>5 min</b>	Altura Lecho:	0.51 cm

30 °C			40 °C			60 °C		
Tiempo (min)	Peso (g)	% Humedad Base húmeda	Tiempo (min)	Peso (g)	% Humedad Base húmeda	Tiempo (min)	Peso (g)	% Humedad Base húmeda
0	29.9857	34.4149	0	30.0071	37.9042	0	30.0000	31.9550
10	29.5114	33.3509	10	28.9443	35.6343	10	28.0343	27.1766
20	29.2614	32.7817	20	28.0243	33.5199	20	26.8400	23.9302
30	29.0429	32.2751	33	27.4000	32.0005	32	25.8286	20.9497
40	28.6014	31.2295	46	26.8614	30.6306	44	24.9414	18.1363
50	28.4314	30.8185	59	26.4229	29.4728	55	24.0686	15.1579
60	28.2000	30.2488	70	26.0014	28.3233	68	23.2886	12.3197
70	27.9414	29.6010	90	25.3700	26.5304			
89	27.8300	29.3216	112	24.7357	24.6363			
114	27.3671	28.1267	192	22.8786	18.5736			
202	25.8971	24.0472						
248	25.0786	21.5653						
284	24.6029	20.0460						
305	24.1543	18.5556						

**Elaborado por:** Angel Mena, 2015

**Fuente:** Datos experimentales

## Curva de secado



**Figura 1-4** Curva % Humedad base húmeda vs Tiempo (secador de bandejas)  
Elaborado por: Angel Mena, 2015

En la Figura 1-4 se aprecia las tres muestras de quinua, la humedad va disminuyendo conforme la temperatura del lecho aumenta y entre las muestras se aprecia que entre ellas, a la misma temperatura describen curvas similares a pesar de tener humedades iniciales diferentes.

### 4.1.3 Resultados secador solar

Se realizó el experimento siguiendo lo trazado en el capítulo anterior, durante tres días en los cuales se tuvo una radiación solar aproximada de 4.64 (kWh/m<sup>2</sup>/d), obteniéndose los siguientes resultados que se presentan en la Tabla 5-4, 6-4 y 7-4.

#### MUESTRA 1

**Tabla 5-4** Datos experimentales (4) secado de quinua en el secador solar

Curva de secado de Quinua:	Con cascara	Temperatura de secado:	Variable
Quinua de:	Sector Tulundo-Guano	Medida del grano:	
Peso de 1 grano:	0.00225 g	a =	1.7 mm
		b =	1.6 mm
Peso Promedio de la muestra:	<b>20 g</b>	e =	0.8 mm
Tiempo Lavado, enjuagado y escurrido:	<b>5 min</b>	Altura Lecho:	1.0 cm

Día 1			Día 2			Día 3		
Tiempo (min)	Peso (g)	% Humedad Base húmeda	Tiempo (min)	Peso (g)	% Humedad Base húmeda	Tiempo (min)	Peso (g)	% Humedad Base húmeda
0	20.0086	48.2000	0	20.0000	60.4056	0	20.0086	61.4571
10	19.3457	46.4197	10	19.4214	59.2256	10	19.3457	60.1324
20	19.0043	45.4578	20	19.1929	58.7403	20	19.0043	59.4167
30	18.7043	44.5830	33	18.9429	58.1956	30	18.7043	58.7658
40	18.3971	43.6582	46	18.7257	57.7109	44	18.3971	58.0777
50	18.1057	42.7504	59	18.5743	57.3661	56	18.1057	57.4022
60	17.7543	41.6163	70	18.3929	56.9455	68	17.7543	56.5583
70	17.5071	40.7918	90	18.1714	56.4208	83	17.3914	55.6514
89	17.2143	39.7803	112	17.9571	55.9008	155	16.7971	54.0808
114	16.6929	37.8964	259	16.1086	50.8363			
202	15.1400	31.5067	282	15.8686	50.0909			
248	14.8000	29.9205						
284	14.4771	28.3585						
305	14.4129	28.0405						

Elaborado por: Angel Mena, 2015

Fuente: Datos experimentales

## MUESTRA 2

Tabla 6-4 Datos experimentales (5) secado de quinua en el secador solar

Curva de secado de Quinua:	SUMAKLIFE	Temperatura de secado:	Variable
Quinua de:	Sector Guamate-Colta-Guano	Medida del grano:	
		a =	1.8 mm
Peso de 1 grano:	0.00253 g	b =	1.7 mm
Peso Promedio de la muestra:	<b>30 g</b>	e =	1.0 mm
Tiempo Lavado, enjuagado y escurrido:	<b>5 min</b>	Altura Lecho:	0.51 cm

Día 1			Día 2			Día 3		
Tiempo (min)	Peso (g)	% Humedad Base húmeda	Tiempo (min)	Peso (g)	% Humedad Base húmeda	Tiempo (min)	Peso (g)	% Humedad Base húmeda
0	30.0071	33.6617	0	30.0014	33.5631	0	30.0071	31.8348
10	29.2743	31.9983	10	29.3886	32.1582	10	29.2743	30.1209
20	28.9157	31.1551	20	28.9700	31.1738	20	28.9157	29.2544
30	28.5800	30.3449	33	28.6071	30.2978	32	28.5800	28.4218
40	28.0929	29.1351	46	28.3014	29.5397	44	28.0929	27.1786
50	27.6657	28.0423	59	28.0871	28.9938	55	27.6657	26.0557

60	27.2700	26.9984	70	27.7829	28.2103	68	27.2700	24.9829
70	26.9386	26.0992	90	27.4543	27.3326			
89	26.4700	24.7905	112	27.1571	26.5076			
114	25.7757	22.7648						
202	23.8314	16.4580						
248	23.4700	15.1726						
284	23.2329	14.3064						
305	23.1371	13.9513						

Elaborado por: Angel Mena, 2015

Fuente: Datos experimentales

### MUESTRA 3

**Tabla 7-4** Datos experimentales (6) secado de quinua en el secador solar

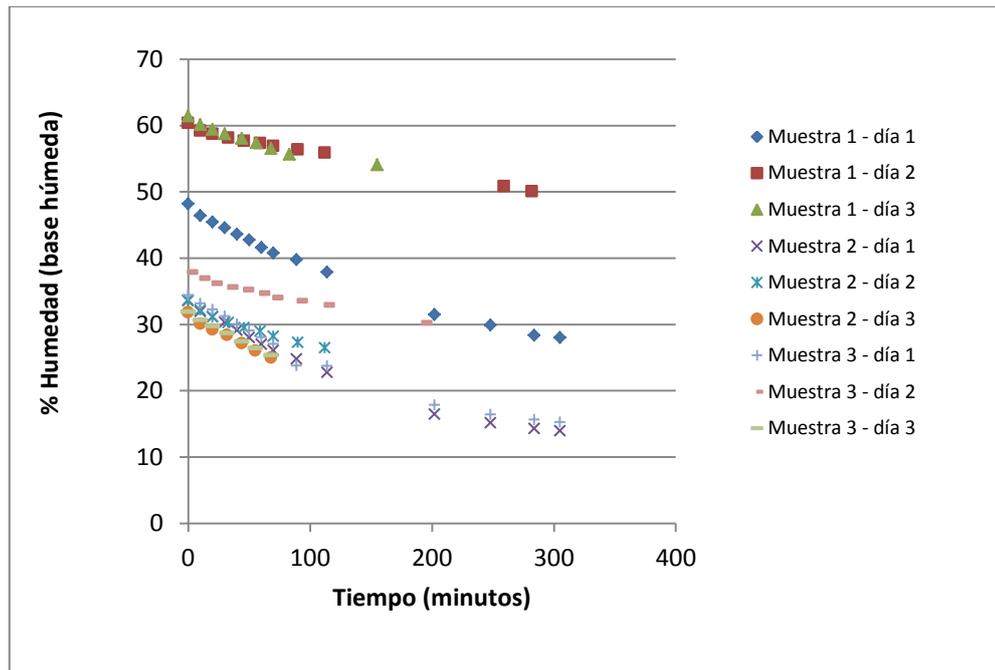
Curva de secado de Quinua:		CAMARI		Temperatura de secado:		Variable	
Quinua de:	Sector: Pichincha, Cotopaxi, Chimborazo			Medida del grano:			
Peso de 1 grano:		0.00283 g		a =	1.82	mm	
Peso Promedio de la muestra:		30 g		b =	1.78	mm	
				e =	1.0	mm	
Tiempo Lavado, enjuagado y escurrido:				5 min	Altura Lecho:		0.51 cm

Día 1			Día 2			Día 3		
Tiempo (min)	Peso (g)	% Humedad Base húmeda	Tiempo (min)	Peso (g)	% Humedad Base húmeda	Tiempo (min)	Peso (g)	% Humedad Base húmeda
0	30.0029	34.4189	0	30.0014	37.9041	0	30.0029	31.9550
10	29.4500	33.1714	10	29.5543	36.9674	10	29.4500	30.6606
20	29.0686	32.2946	20	29.2114	36.2275	20	29.0686	29.7508
30	28.6343	31.2675	33	28.9443	35.6387	32	28.6343	28.6852
40	28.1400	30.0598	46	28.7757	35.2615	44	28.1400	27.4321
50	27.7629	29.1095	59	28.5429	34.7328	55	27.7629	26.4462
60	27.3600	28.0656	70	28.2471	34.0496	68	27.3600	25.3630
70	26.9929	27.0868	90	28.0414	33.5654			
89	25.9143	23.7986	112	27.7914	32.9670			
114	25.8114	23.7459	192	26.7057	30.2272			
202	23.9714	17.8751						
248	23.5629	16.4495						
284	23.3443	15.6656						
305	23.2400	15.2851						

Elaborado por: Angel Mena, 2015

Fuente: Datos experimentales

## Curvas de secado



**Figura 2-4** Curva % Humedad base húmeda vs Tiempo (Secador solar)  
Elaborado por: Angel Mena, 2015

En la Figura 2-4 se aprecia que la pérdida de humedad en cada muestra y día es menos pronunciada que en el caso del secador de bandejas, o sea la pendiente es menor comparadas cada muestra a muestra y temperatura con día respectivamente, pero entre ellas mantienen similitud únicamente diferenciándose por la humedad inicial.

### 4.1.4 Determinación del modelo matemático

Para el efecto se usa los principios estadísticos de ajuste de curvas, determinando el valor del  $R^2$ , con la finalidad de conocer el modelo que se ajusta de mejor manera al secado de la quinua con cada método. La tabla 8-4 presenta las constantes empíricas de los modelos propuestos para el secado de la quinua.

### Secador de Bandejas

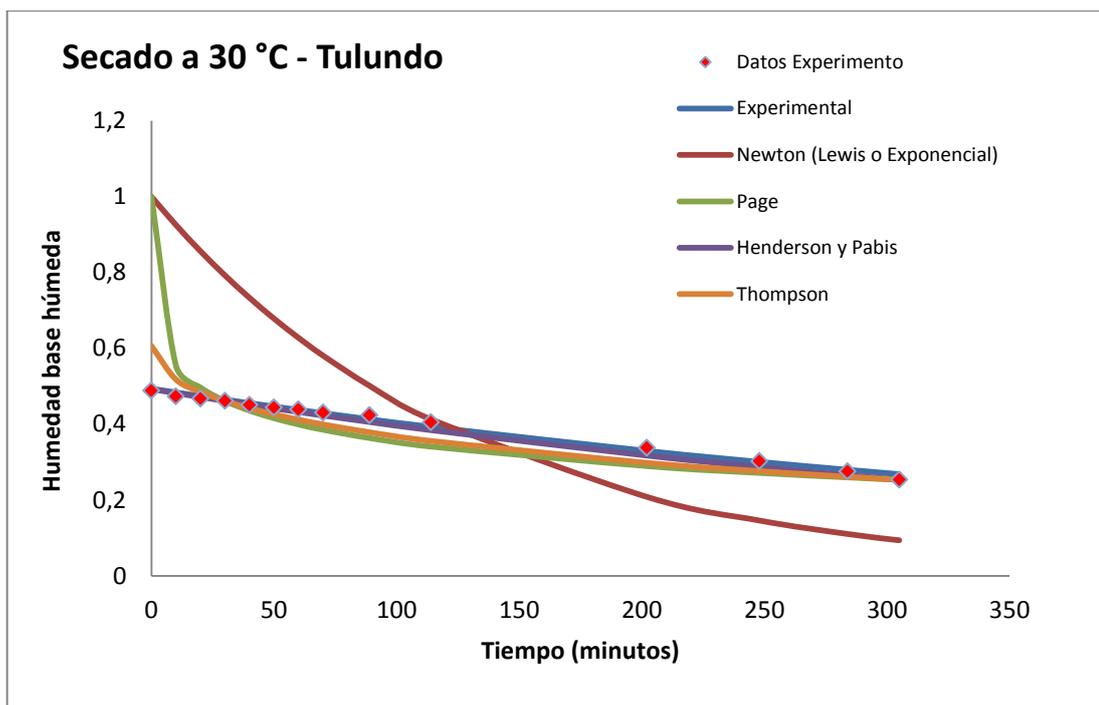
**Tabla 8-4** Valores de las constantes empíricas de los modelos de secado – Secador de bandejas

No. Modelo	Constante	30 °C			40 °C			60 °C		
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
	a	0.493	0.333	0.340	0.606	0.331	0.366	0.673	0.323	0.318

	k	0.002	0.002	0.002	0.002	0.005	0.004	0.007	0.012	0.014
1	k	0.008	0.011	0.011	0.012	0.027	0.024	0.021	0.050	0.052
2	k	0.334	0.636	0.630	0.347	0.712	0.710	0.332	0.738	0.737
	n	0.247	0.176	0.172	0.161	0.183	0.144	0.203	0.232	0.248
4	a	0.492	0.336	0.343	0.593	0.322	0.358	0.615	0.321	0.311
	k	0.002	0.002	0.002	0.002	0.005	0.003	0.004	0.012	0.014
12	a	0.500	0.890	0.878	0.430	0.898	0.868	0.373	0.820	0.811
	b	400.43	425.88	468.972	1153.9	178.30	393.85	408.33	51.926	41.287

**Elaborado por:** Angel Mena, 2015  
**Fuente:** Datos experimentales

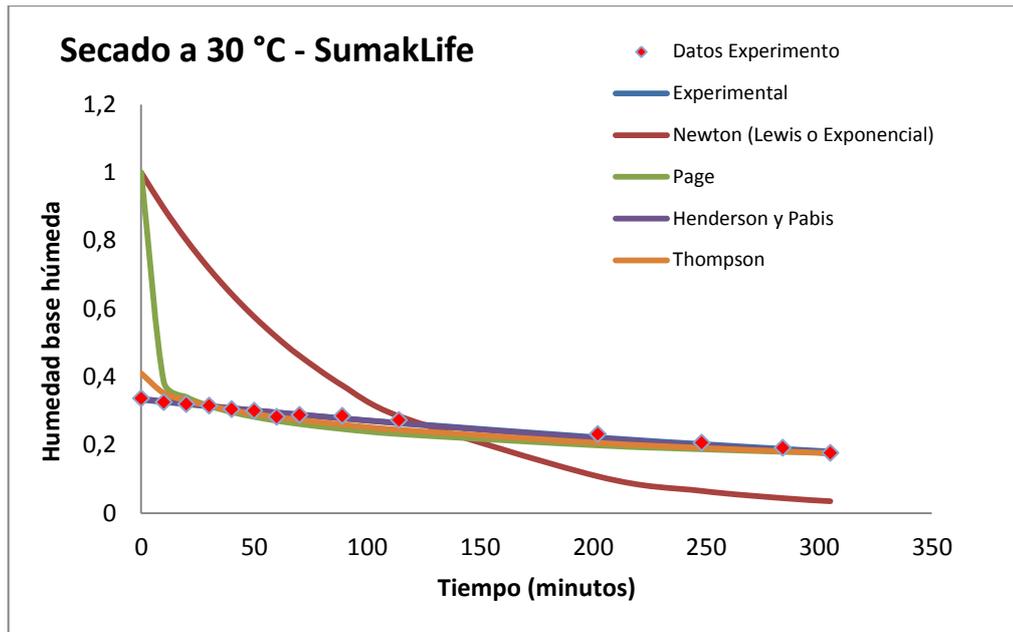
En las Figuras 3-4 a 11-4 muestran la comparación de la curva de secado experimental con algunos modelos, esto es con una muestra de quinua secada a una temperatura de 30, 40 y 60 °C en el secador de bandejas, el modelo de Newton es el que no se ajusta a la curva experimental, las demás se aproximan.



**Figura 3-4** Comparación curvas de secado experimental con algunos modelos matemáticos en el secador de bandejas a 30°C (Muestra 1)

**Elaborado por:** Angel Mena, 2015

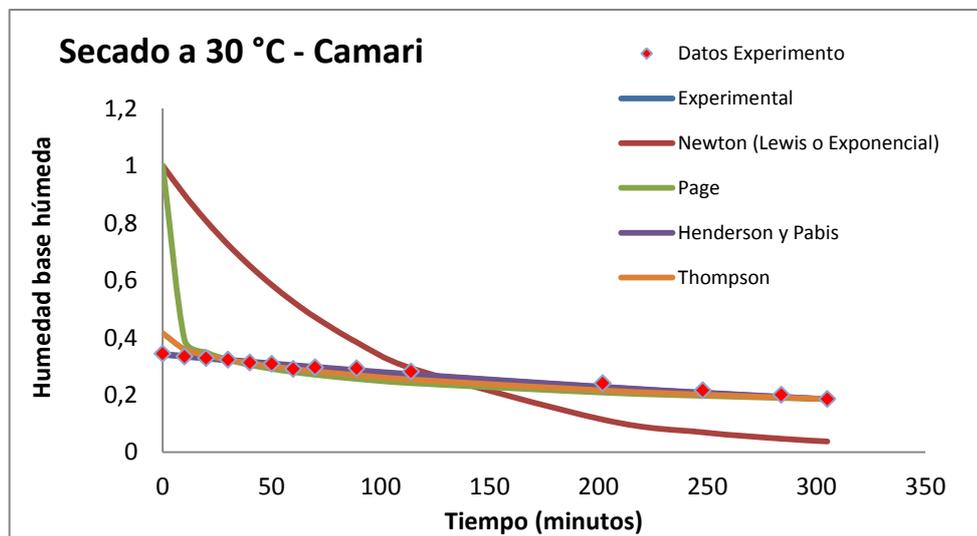
En la Figura 3-4 los modelos matemáticos que mejor se ajustan son el de Henderson y Pabis con un valor de  $R^2$  de 0.9451, y el de Thompson con un  $R^2$  de 0.935936.



**Figura 4-4** Comparación curvas de secado experimental con algunos modelos matemáticos en el secador de bandejas a 30°C (Muestra 2)

Elaborado por: Angel Mena, 2015

En la Figura 4-4 el modelo que mejor ajuste es el de Henderson y Pabis, seguido del modelo de Thompson con valores de  $R^2$ , 0.94296 y 0.936232 respectivamente. Los modelos Newton y Page poseen un ajuste de  $R^2$  de 0.823725 y 0.7471881

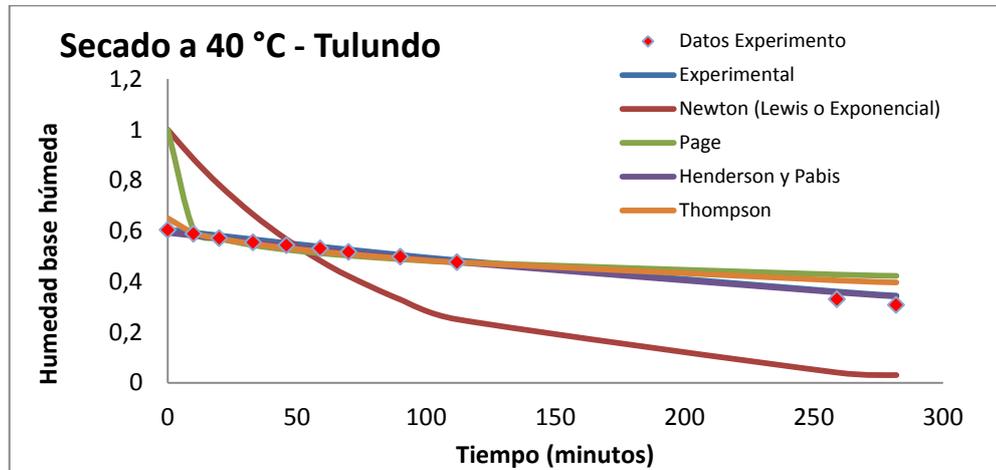


**Figura 5-4** Comparación curvas de secado experimental con algunos modelos matemáticos en el secador de bandejas a 30°C (Muestra 3)

Elaborado por: Angel Mena, 2015

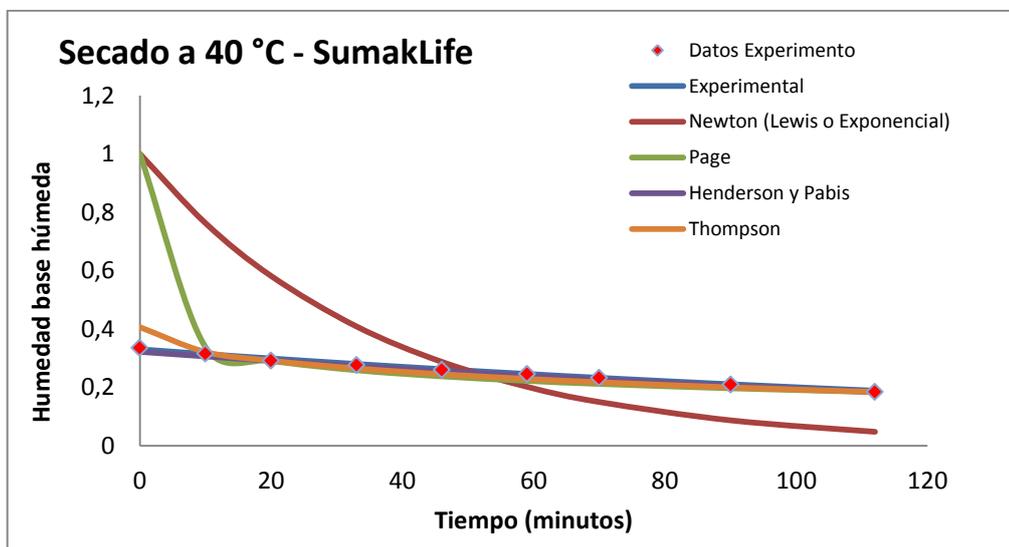
En la Figura 5-4, al realizar el ajuste de curva con los modelos propuestos, se ve que los modelos de Newton y Page no poseen un valor alto de  $R^2$  por lo que los mejores

modelos con un  $R^2$  de 0.94038 para el de Henderson y Pabis, y 0.93444 para el de Thompson.



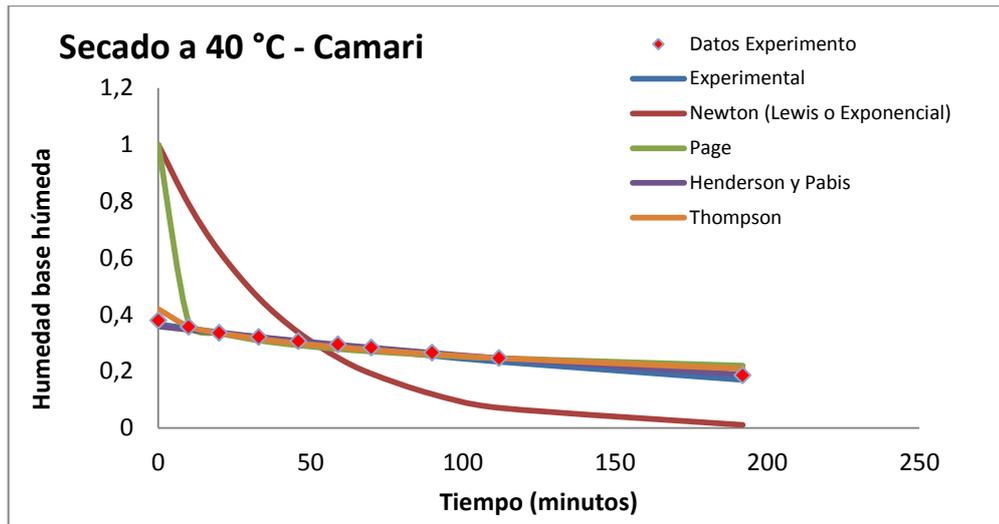
**Figura 6-4** Comparación curvas de secado experimental con algunos modelos matemáticos en el secador de bandejas a 40°C (Muestra 1)  
Elaborado por: Angel Mena, 2015

En la Figura 6-4 se aprecia que el valor de  $R^2$  para Henderson y Pabis es de 0.99928, para Thompson 0.995063, para Page 0.95744374 y Newton de 0.854686, siendo el mejor modelo matemático el de Henderson y Pabis.



**Figura 7-4** Comparación curvas de secado experimental con algunos modelos matemáticos en el secador de bandejas a 40°C (Muestra 2)  
Elaborado por: Angel Mena, 2015

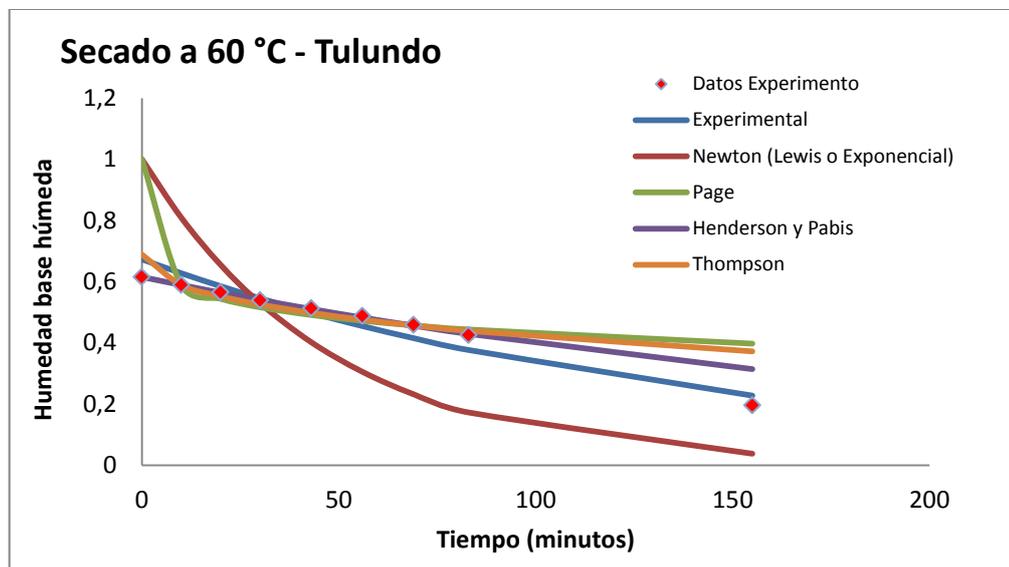
En la Figura 7-4 el mejor modelo que tiene un mayor  $R^2$  es el de Henderson y Pabis con 0.99981, luego el de Thompson con 0.991105, Page con 0.7472469 y Newton con 0.768841.



**Figura 8-4** Comparación curvas de secado experimental con algunos modelos matemáticos en el secador de bandejas a 40°C (Muestra 3)

Elaborado por: Angel Mena, 2015

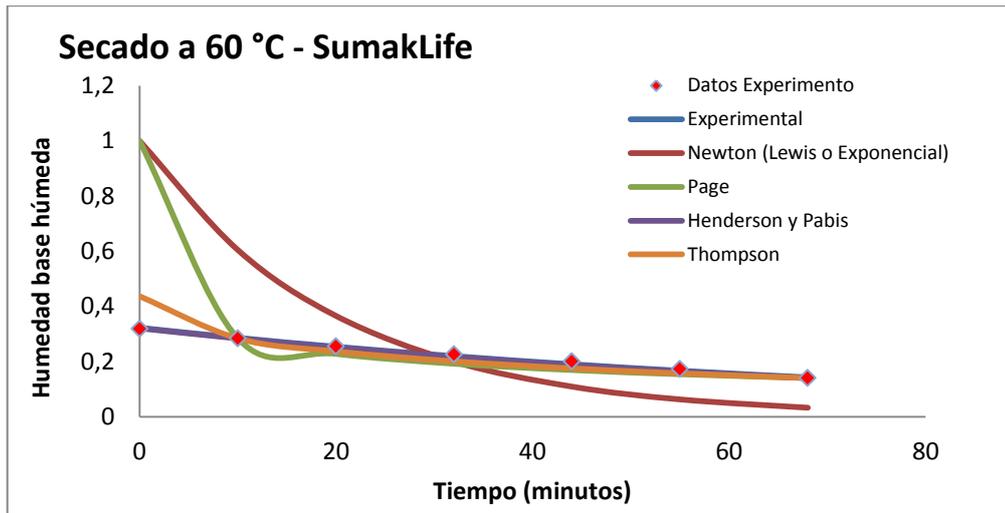
En la Figura 8-4 el mejor modelo que tiene un mayor  $R^2$  es el de Henderson y Pabis con 0.99954, luego el de Thompson con 0.997492, Page con 0.8118926 y Newton con 0.753016.



**Figura 9-4** Comparación curvas de secado experimental con algunos modelos matemáticos en el secador de bandejas a 60°C (Muestra 1)

Elaborado por: Angel Mena, 2015

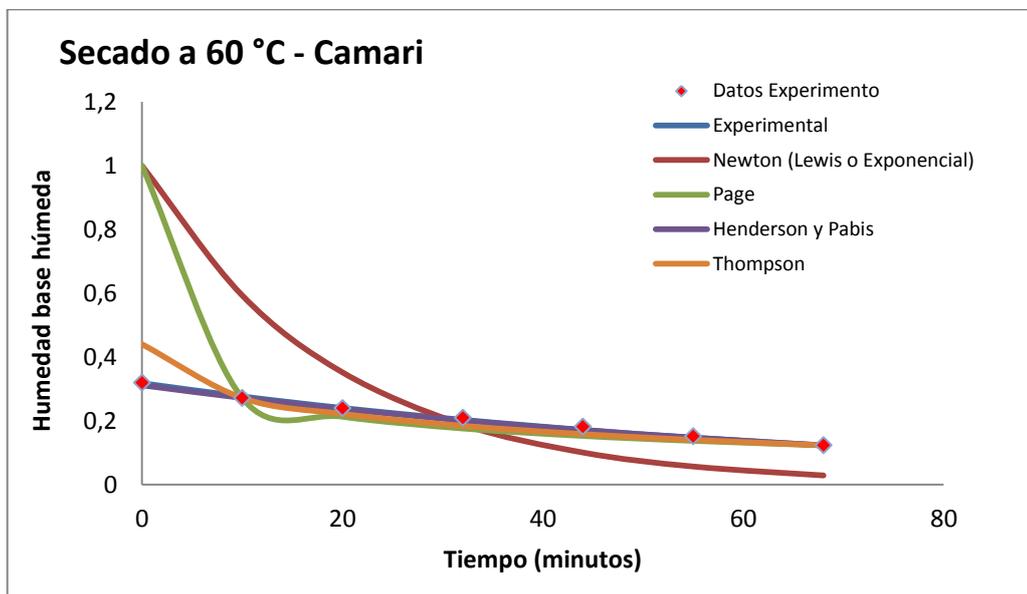
En la Figura 9-4 se aprecia que el mejor modelo que se ajusta a los datos con un  $R^2$  de 0.99397 es el de Henderson y Pabis, le sigue el modelo de Thompson con 0.985054, el de Page con 0.9436116 y finalmente el de Newton con un  $R^2$  de 0.855666.



**Figura 10-4** Comparación curvas de secado experimental con algunos modelos matemáticos en el secador de bandejas a 60°C (Muestra 2)

Elaborado por: Angel Mena, 2015

En la Figura 10-4 se aprecia el ajuste de curva con los modelos propuestos, se ve que los modelos de Newton y Page no poseen un valor alto de  $R^2$ , siendo los mejores modelos con un  $R^2$  de 0.99941 para el de Henderson y Pabis, y 0.96651 para el de Thompson.



**Figura 11-4** Comparación curvas de secado experimental con algunos modelos matemáticos en el secador de bandejas a 60°C (Muestra 3)

Elaborado por: Angel Mena, 2015

En la Figura 11-4 se aprecia que el mejor modelo que se ajusta a los datos con un  $R^2$  de 0.99967 es el de Henderson y Pabis, le sigue el modelo de Thompson con 0.964372, el de Page con 0.7061958 y finalmente el de Newton con un  $R^2$  de 0.758717.

## Secador Solar

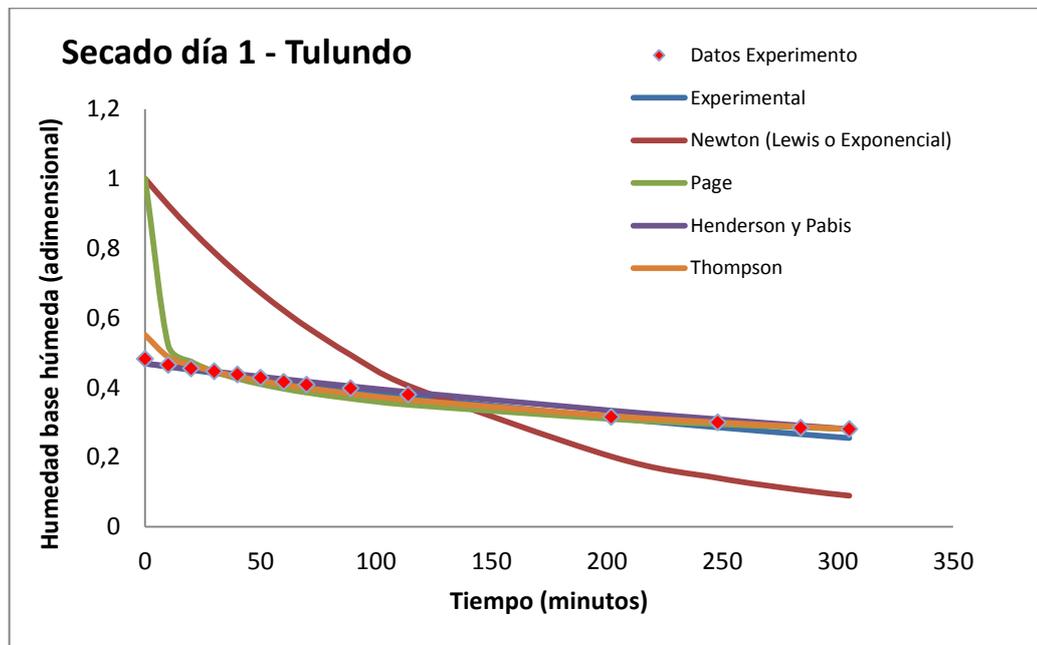
**Tabla 9-4** Valores de las constantes empíricas de los modelos de secado – Secador tipo invernadero

No. Modelo	Constante	Día 1			Día 2			Día 3		
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
	a	0.469	0.327	0.333	0.597	0.328	0.372	0.604	0.315	0.318
	k	0.002	0.003	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.003	0.003
1	k	0.008	0.012	0.011	0.011	0.024	0.021	0.019	0.044	0.044
2	k	0.415	0.571	0.575	0.456	0.929	0.870	0.444	1.008	0.989
	n	0.196	0.216	0.207	0.052	0.076	0.052	0.059	0.076	0.078
4	a	0.469	0.330	0.338	0.594	0.323	0.370	0.608	0.311	0.317
	k	0.002	0.003	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.003	0.003
12	a	0.596	0.837	0.836	0.496	1.047	0.946	0.471	1.084	1.064
	b	668.25	237.96	280.51	15211.3	1420.32	4198.33	6883.46	738.89	718.32

Elaborado por: Angel Mena, 2015

Fuente: Datos experimentales

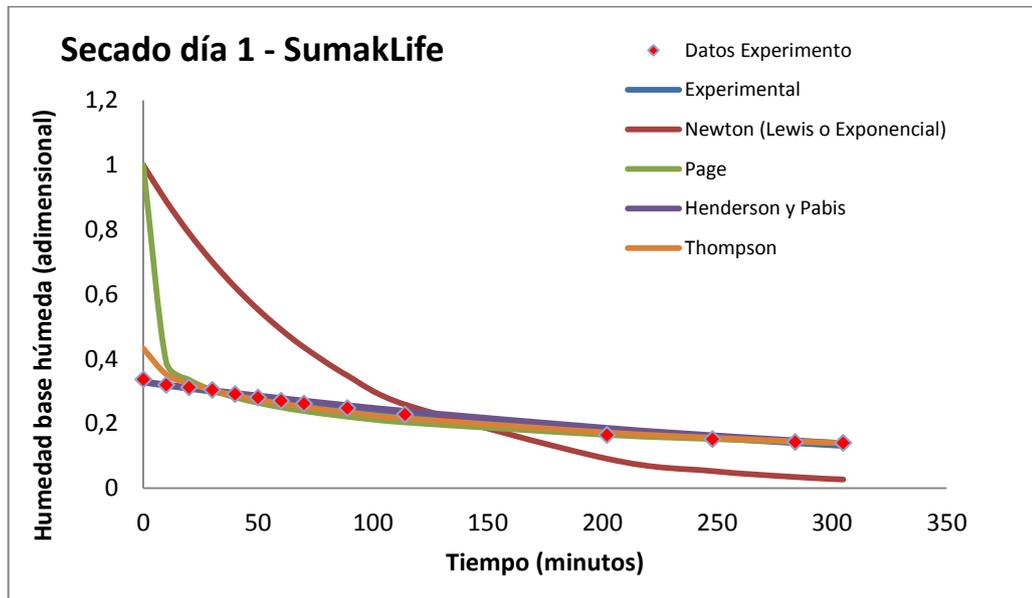
En las Figuras 12-4 a 20-4 se muestra la comparación de la curva de secado experimental con algunos modelos, esto es con una muestra de quinua secado a una diversidad de temperaturas según los días del experimento en el secador solar, el modelo de Newton (Lewis o Exponencial) es el que no se ajusta a la curva experimental, las demás se aproximan.



**Figura 12-4** Comparación curvas de secado experimental con algunos modelos matemáticos en el secador solar día 1 (Muestra 1)

Elaborado por: Angel Mena, 2015

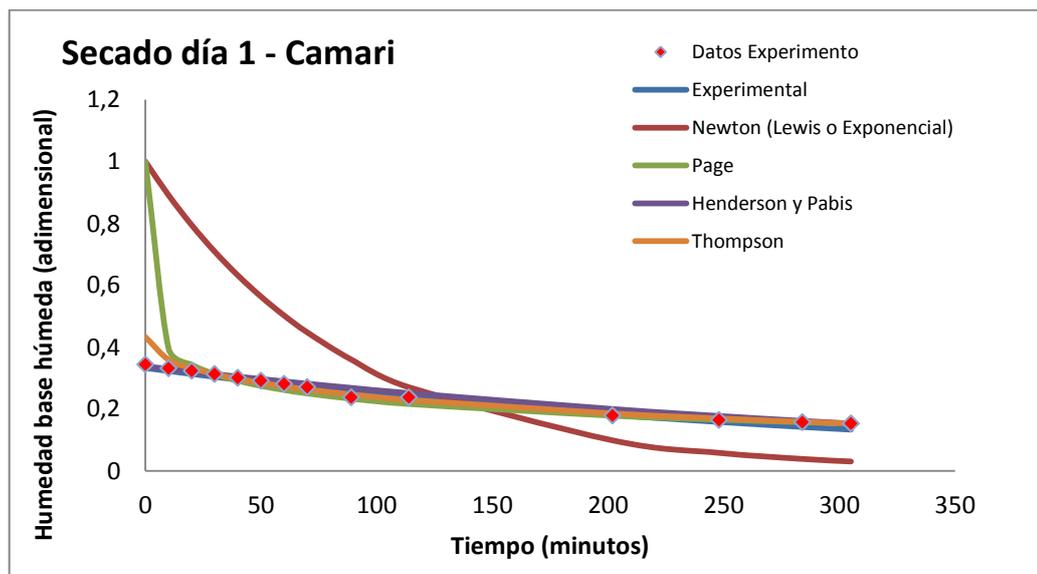
En la Figura 12-4 se ve que los modelos con un  $R^2$  de 0.93048 para el de Henderson y Pabis, y 0.928721 para el de Thompson; en cambio los modelos de Page y Newton poseen un bajo nivel de ajuste, siendo  $R^2$  de 0.8569963 y 0.875648 respectivamente.



**Figura 13-4** Comparación curvas de secado experimental con algunos modelos matemáticos en el secador solar día 1 (Muestra 2)

Elaborado por: Angel Mena, 2015

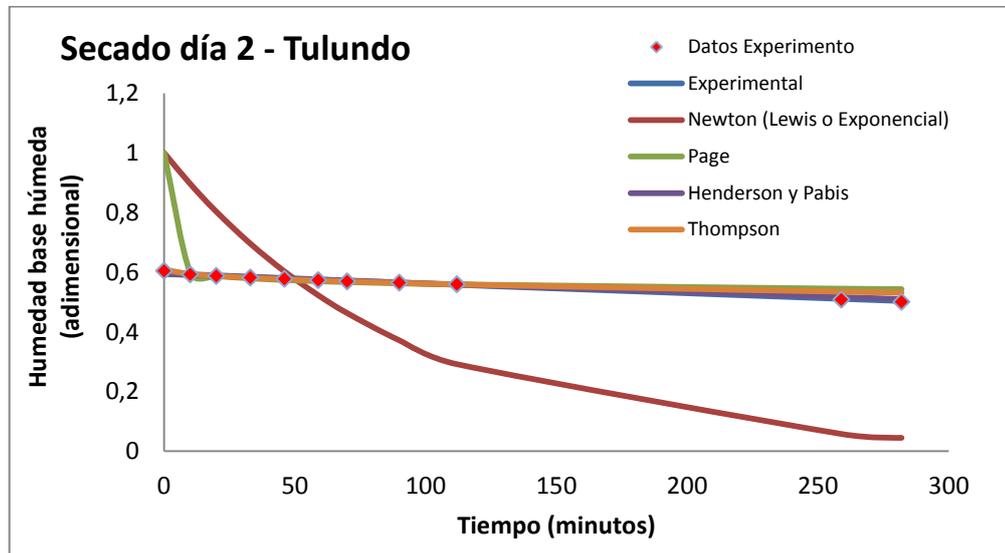
En la Figura 12-4 se ve que los modelos con un  $R^2$  de 0.95775 para el de Henderson y Pabis, y 0.950124 para el de Thompson; en cambio los modelos de Page y Newton poseen un bajo nivel de ajuste, siendo  $R^2$  de 0.7553613 y 0.872828 respectivamente.



**Figura 14-4** Comparación curvas de secado experimental con algunos modelos matemáticos en el secador solar día 1 (Muestra 3)

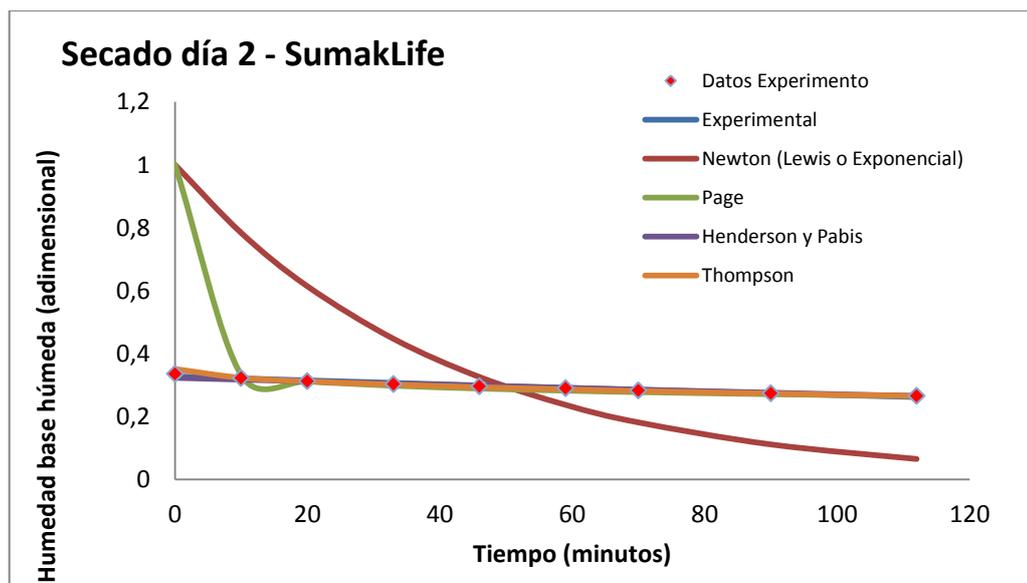
Elaborado por: Angel Mena, 2015

En la Figura 14-4 el modelo que tiene un mayor  $R^2$  es el de Henderson y Pabis con 0.95237, luego el de Thompson con 0.947649, Newton con 0.871045 y Page con 0.7650491.



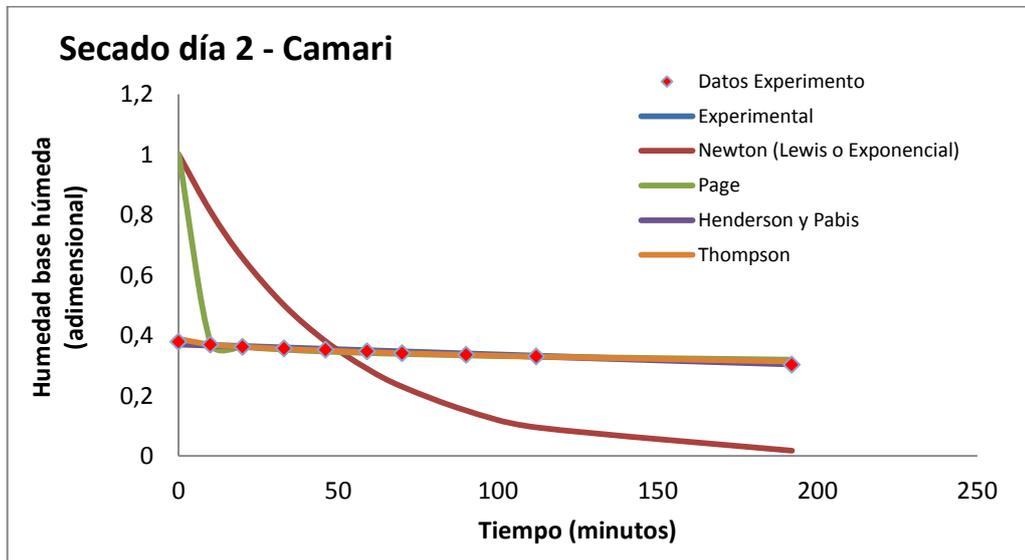
**Figura 15-4** Comparación curvas de secado experimental con algunos modelos matemáticos en el secador solar día 2 (Muestra 1)  
Elaborado por: Angel Mena, 2015

En la Figura 15-4 se aprecia que el mejor modelo que se ajusta a los datos con un  $R^2$  de 0.99993 es el de Henderson y Pabis, le sigue el modelo de Thompson con 0.999613, el de Page con 0.9672732 y finalmente el de Newton con un  $R^2$  de 0.792206.



**Figura 16-4** Comparación curvas de secado experimental con algunos modelos matemáticos en el secador solar día 2 (Muestra 2)  
Elaborado por: Angel Mena, 2015

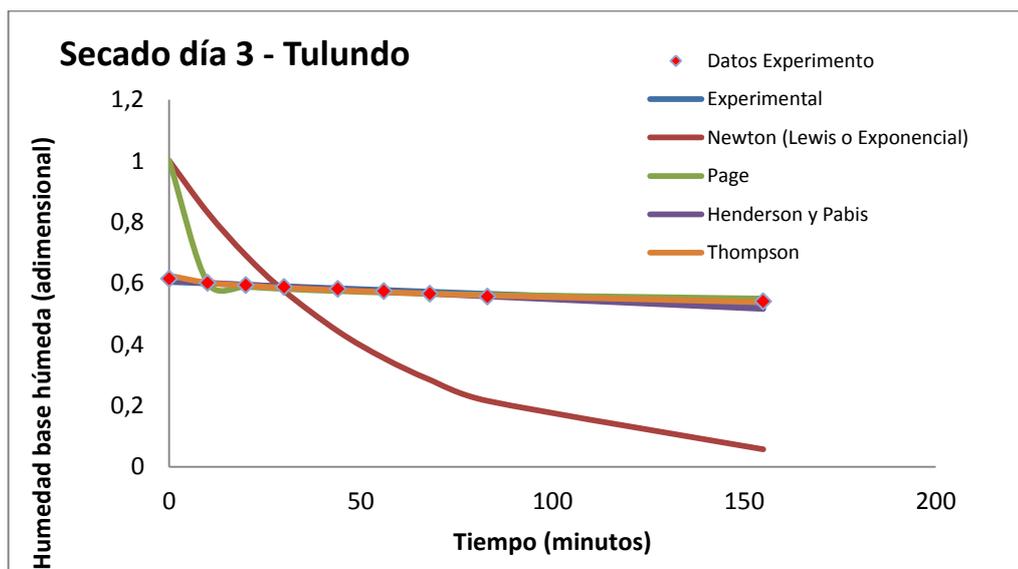
En la Figura 16-4 el modelo que tiene un mayor  $R^2$  es el de Henderson y Pabis con 0.99975, luego el de Thompson con 0.999696, Page con 0.7725075 y Newton con 0.721203.



**Figura 17-4** Comparación curvas de secado experimental con algunos modelos matemáticos en el secador solar día 2 (Muestra 3)

Elaborado por: Angel Mena, 2015

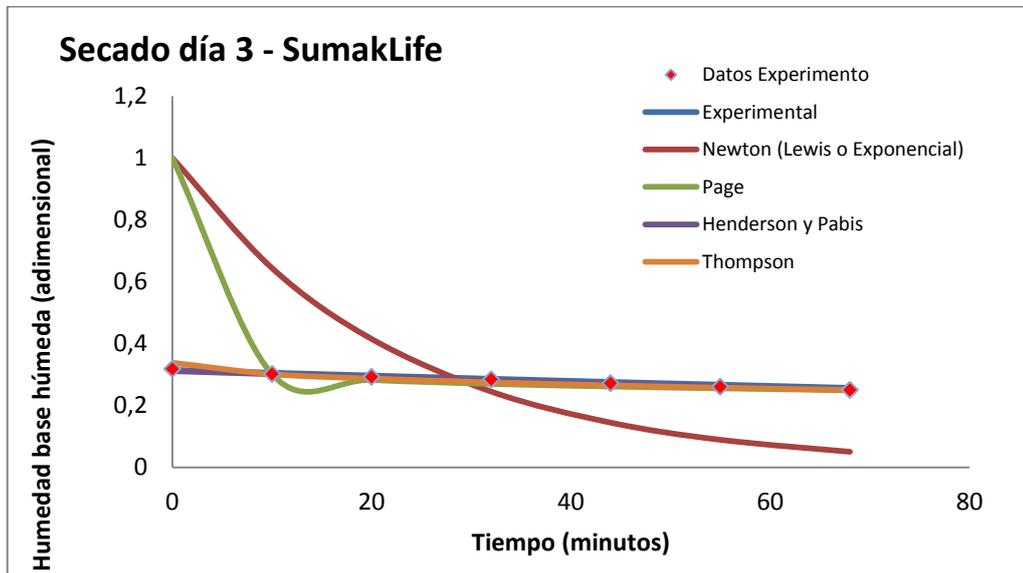
En la Figura 17-4 se aprecia que el mejor modelo que se ajusta a los datos con un  $R^2$  de 0.9999 es el de Henderson y Pabis, le sigue el modelo de Thompson con 0.99983, el de Page con 0.8357520 y finalmente el de Newton con un  $R^2$  de 0.695461.



**Figura 18-4** Comparación curvas de secado experimental con algunos modelos matemáticos en el secador solar día 3 (Muestra 1)

Elaborado por: Angel Mena, 2015

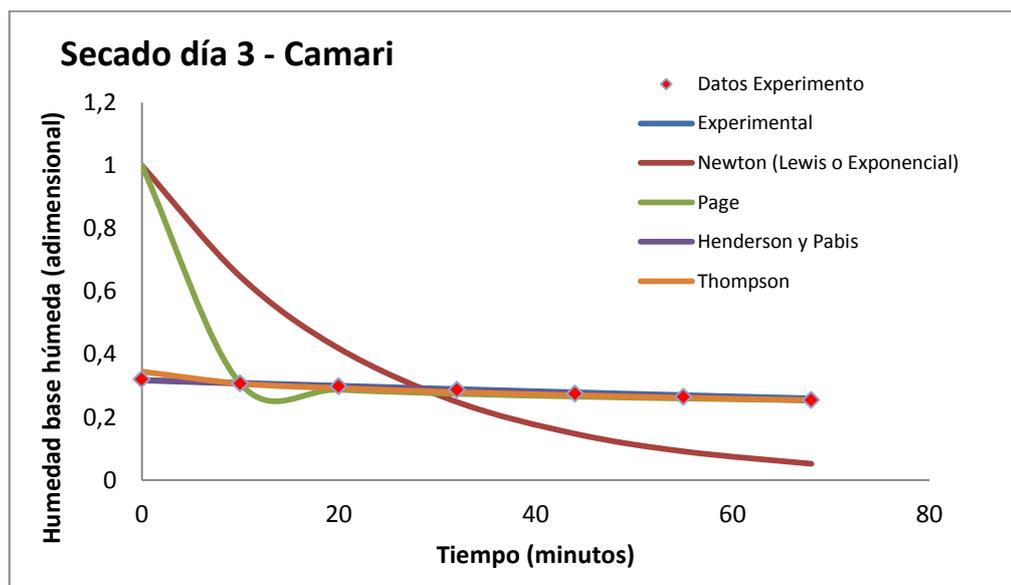
En la Figura 18-4 el modelo que tiene un mayor  $R^2$  es el de Thompson con 0.999946, luego el de Henderson y Pabis con 0.99981, Page con 0.9639167 y Newton con 0.777313.



**Figura 19-4** Comparación curvas de secado experimental con algunos modelos matemáticos en el secador solar día 3 (Muestra 2)

Elaborado por: Angel Mena, 2015

En la Figura 19-4 se aprecia que el mejor modelo que se ajusta a los datos con un  $R^2$  de 0.99993 es el de Henderson y Pabis, le sigue el modelo de Thompson con 0.998998, el de Page con 0.7291016 y finalmente el de Newton con un  $R^2$  de 0.641534.



**Figura 20-4** Comparación curvas de secado experimental con algunos modelos matemáticos en el secador solar día 3 (Muestra 3)

Elaborado por: Angel Mena, 2015

En la Figura 20-4 se aprecia que el mejor modelo que se ajusta a los datos con un  $R^2$  de 0.99999 es el de Henderson y Pabis, le sigue el modelo de Thompson con 0.998716, el de Page con 0.7323681 y finalmente el de Newton con un  $R^2$  de 0.643419.

### Secador de Bandejas

Para el secado de bandejas el modelo matemático que mejor se ajusta es el de Henderson y Pabis con un  $R^2$  de 0.9451 a 0.99967, luego el de Thompson como se aprecia en la tabla 10-4 donde  $R^2$  es de 0.935936 a 0.997492, la reducción de chi-cuadrado ( $x^2$ ), la suma de los errores cuadrados de las desviaciones entre los datos experimentales y los valores de los modelos analizados (SSE); y la raíz media de los errores cuadrados (RMSE).

**Tabla 10-4** Resultados estadísticos obtenidos para 4 modelos – Secador de bandejas

Modelos	Muestra	Temperatura	$R^2$	$x^2$	SSE	RMSE
Newton	1	30 °C	0.883835	0.076524	0.071058	0.266567
		40 °C	0.854686	0.055259	0.050235	0.224133
		60 °C	0.855666	0.048793	0.043371	0.208258
	2	30 °C	0.823725	0.115548	0.107295	0.327559
		40 °C	0.768841	0.098262	0.087344	0.295539
		60 °C	0.734721	0.102045	0.087467	0.295748
	3	30 °C	0.823388	0.114126	0.105974	0.325537
		40 °C	0.753016	0.096251	0.085556	0.2925
		60 °C	0.758717	0.100671	0.086289	0.29375
Page	1	30 °C	0.8623008	0.02378002	0.02038287	0.14276859
		40 °C	0.9574374	0.02010586	0.01645025	0.12825852
		60 °C	0.9436116	0.02734357	0.02126722	0.14583285
	2	30 °C	0.7471881	0.03749907	0.03214206	0.17928207
		40 °C	0.7472469	0.06339756	0.04930921	0.22205677
		60 °C	0.7007284	0.09356288	0.06683063	0.25851621
	3	30 °C	0.7553125	0.03663707	0.03140321	0.1772095
		40 °C	0.8118926	0.05540553	0.04309319	0.20758899
		60 °C	0.7061958	0.09317375	0.06655268	0.25797805
Henderson y Pabis	1	30 °C	0.9451	0.00014	0.00012	0.01112
		40 °C	0.99928	0.00023	0.00019	0.01377
		60 °C	0.99397	0.00203	0.00158	0.0397
	2	30 °C	0.94296	5.1E-05	4.4E-05	0.00661
		40 °C	0.99981	5.3E-05	4.1E-05	0.00643
		60 °C	0.99941	6.3E-05	4.5E-05	0.00673
	3	30 °C	0.94038	4.8E-05	4.1E-05	0.00642
		40 °C	0.99954	7.6E-05	5.9E-05	0.00768
		60 °C	0.99967	5.3E-05	3.8E-05	0.00617
Thompson	1	30 °C	0.935936	0.002097	0.001798	0.042397
		40 °C	0.995063	0.001791	0.001465	0.038275
		60 °C	0.985054	0.00537	0.004176	0.064625
	2	30 °C	0.936232	0.000743	0.000637	0.025241

		40 °C	0.991105	0.000856	0.000665	0.025797
		60 °C	0.96651	0.003169	0.002264	0.047577
	3	30 °C	0.93444	0.000696	0.000596	0.02442
		40 °C	0.997492	0.000349	0.000272	0.01648
		60 °C	0.964372	0.003235	0.002311	0.048071

Elaborado por: Angel Mena, 2015

Fuente: Datos experimentales

## Secador solar

Para el secado natural el modelo que mejor se ajusta a los datos experimentados ya que sus valores de  $R^2$  están en los rangos de 0.928721 a 0.99967. El modelo que mejor se ajusta es el de Henderson y Pabis, junto con el de Thompson y Page.

**Tabla 11-4** Resultados estadísticos obtenidos para 4 modelos – Secador solar

Modelos	Muestra	Temperatura	$R^2$	$x^2$	SSE	RMSE
Newton	1	V. día 1	0.875648	0.080807	0.075035	0.273926
		V. día 2	0.792206	0.084223	0.076566	0.276706
		V. día 3	0.777313	0.088464	0.078635	0.280419
	2	V. día 1	0.872828	0.111537	0.10357	0.321824
		V. día 2	0.721203	0.105855	0.094093	0.306746
		V. día 3	0.641534	0.114047	0.097754	0.312657
	3	V. día 1	0.871045	0.110344	0.102463	0.320098
		V. día 2	0.695461	0.109233	0.097096	0.311602
		V. día 3	0.643419	0.113658	0.097421	0.312123
Page	1	V. día 1	0.8569963	0.02292087	0.0196464	0.14016582
		V. día 2	0.9672732	0.01777568	0.0145437	0.12059742
		V. día 3	0.9639167	0.02125798	0.0165339	0.12858453
	2	V. día 1	0.7553613	0.03734862	0.0320131	0.17892206
		V. día 2	0.7725075	0.06308889	0.0490691	0.22151555
		V. día 3	0.7291016	0.09301959	0.0664425	0.25776456
	3	V. día 1	0.7650491	0.03635662	0.0311628	0.17652994
		V. día 2	0.8357520	0.05514417	0.0428899	0.2070988
		V. día 3	0.7323681	0.09267656	0.0661975	0.25728883
Henderson y Pabis	1	V. día 1	0.93048	7.6E-05	0.00807	6.5E-05
		V. día 2	0.99993	3.1E-05	2.5E-05	0.005
		V. día 3	0.99981	9.6E-05	7.5E-05	0.00863
	2	V. día 1	0.95775	9.6E-05	8.2E-05	0.00906
		V. día 2	0.99975	2.9E-05	2.3E-05	0.00478
		V. día 3	0.99993	1.4E-05	1E-05	0.00317
	3	V. día 1	0.95237	0.00017	0.00014	0.01201
		V. día 2	0.9999	1.7E-05	1.3E-05	0.00364
		V. día 3	0.99999	2.1E-06	1.5E-06	0.00123
Thompson	1	V. día 1	0.928721	0.000505	0.000433	0.02081
		V. día 2	0.999613	0.000184	0.000151	0.012273
		V. día 3	0.999946	2.32E-05	1.81E-05	0.004252
	2	V. día 1	0.950124	0.000909	0.000779	0.027915

		V. día 2	0.999696	3.65E-05	2.84E-05	0.005332
		V. día 3	0.998998	0.000113	8.05E-05	0.008973
	3	V. día 1	0.947649	0.000759	0.000651	0.025507
		V. día 2	0.99983	3.21E-05	2.49E-05	0.004994
		V. día 3	0.998716	0.000151	0.000108	0.010381

Elaborado por: Angel Mena, 2015

Fuente: Datos experimentales

## 4.2 Análisis e interpretación de resultados

### 4.2.1 Resultado del secador de bandejas

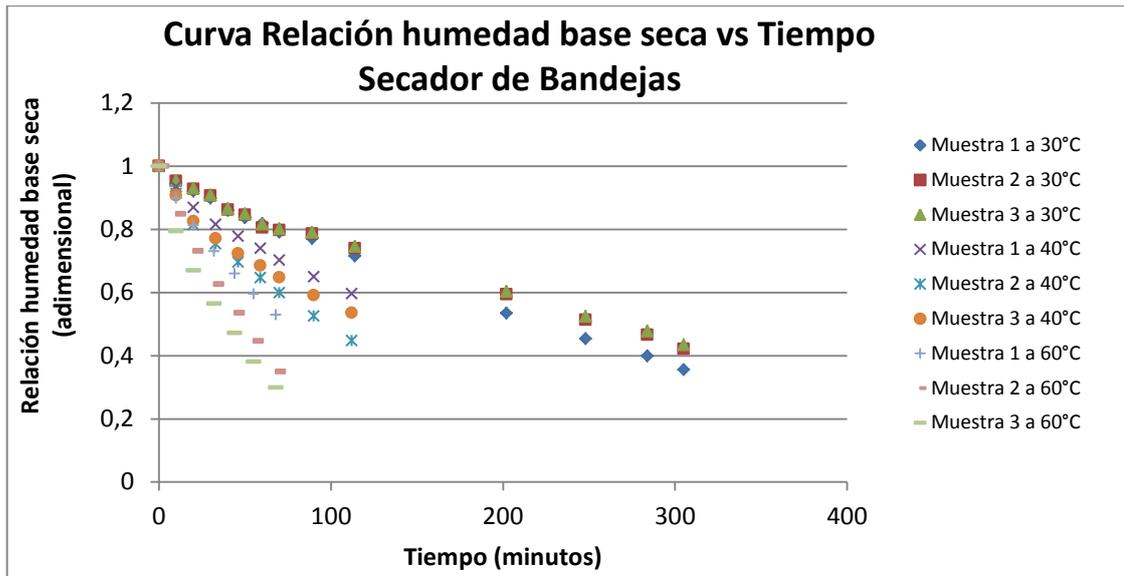
En la Figura 21-4 se puede observar la influencia que tiene la humedad inicial en el tiempo de secado, así como la temperatura a la cual se la realiza; entré las muestras 2 y 3 no se da mucha diferencia en cada experimentación, pero en la muestra 1 conforme aumenta la temperatura el producto tiende a tostarse ya que la cascarilla tiene un efecto de combustión.

La velocidad del viento en el secador para todos los experimentos fue de 1.85 m/s en promedio, se notó que al calentarse la quinua en la superficie del lecho, el calor se transmite hacia el interior del mismo, durante este proceso el agua es eliminada en forma de vapor al medio ambiente.

La verificación del mejor modelo de ajuste de acuerdo a varios autores se consigue con el contenido de humedad en base seca pasándola a relación de humedad (adimensional) vs el tiempo de secado, y se constata que los datos experimentales, en el que se presenta similares resultados en los dos procesos de secado (ChayJan; Shadidi, 2014) puesto que los valores de  $R^2$  varían entre 0.98 a 0.99.

Los modelos que describen de mejor manera el secado de la quinua desde este punto de vista son Page, Henderson y Pabis para las tres muestras y las temperaturas de secado (30, 40 y 60 °C) (Figura 21-4). Por tal motivo se dice que el mejor modelo que describe la cinética de secado de la quinua es el modelo de Page con un  $R^2$  de 0,999704 dada su simplicidad y facilidad de uso.

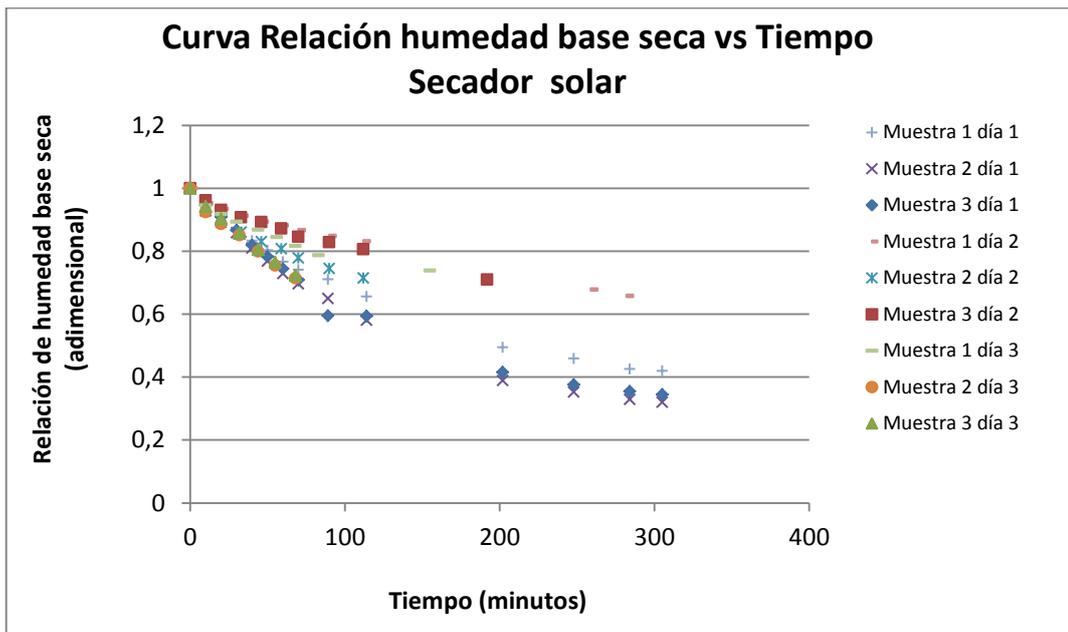
El modelo de Page ha sido utilizado para describir el secado de masa fibrosa de mandioca, (Castiglione et al. 2013); de tomate (Sanjinez-Argandona et al., 2011), granos de frijoles (Correa et al., 2007), entre otros.



**Figura 21-4** Comparación curvas de secado experimental secador de bandejas  
Elaborado por: Angel Mena, 2015

#### 4.2.2 Resultado del secador Solar

Igual que en el caso del secado por bandejas, las muestras presentan una similitud en la forma de secado, solo cambia por la humedad inicial, la velocidad de secado fue de 0.1 m/s. El modelo matemático que tiene un mejor ajuste dada un  $R^2$  de 0.98776889 es el modelo de Page, luego el modelo de Henderson y Pabis con 0,987333, esto con los datos relación de humedad en base seca (adimensional) vs el tiempo (Figura 22-4).



**Figura 22-4** Comparación de las curvas de secado experimental secador solar  
Elaborado por: Angel Mena, 2015

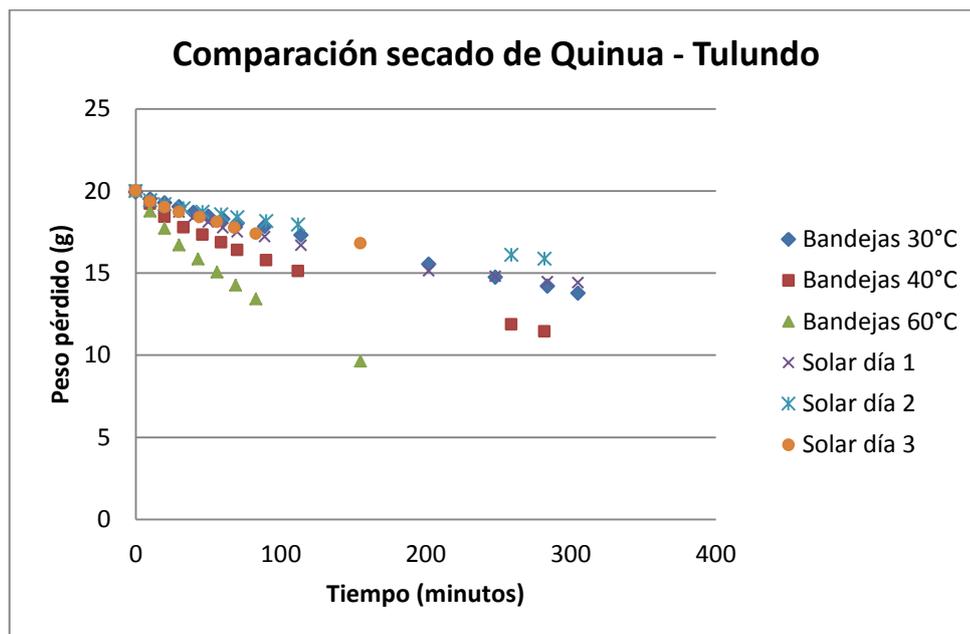
### 4.2.3 Comparación entre los dos secadores

En las Figuras 23-4, 24-4 y 25-4 se puede apreciar que la pérdida de peso contenido de agua) es mayor en el secador de bandejas que en el solar, sin embargo no se da una apreciación muy notoria entre el secado en bandejas a una temperatura de 30°C y el secador solar del día 1. Se puede apreciar que entre mayor es la temperatura de secado de la quinua menor es el tiempo requerido para el proceso.

En el secador solar se nota que la temperatura es directamente proporcional a luminosidad (irradiación solar presente) y en la primera etapa de secado es similar al secado de bandejas, pero conforme el producto aumenta su temperatura (temperatura del lecho) se da una evaporación del agua, pero al aumentar el tiempo de secado y disminuir la irradiación solar se tiene una transferencia de calor baja hacia el interior del lecho por lo que el secado se hace más lento, esto se nota en las tres muestras, sin embargo en la muestra 1 que posee cascarilla la transferencia de calor hacia el interior del lecho es más lenta y por ende a unos 3 mm la humedad solo baja un 10% del total de toda la muestra en ese instante de tiempo.

A temperatura de 60°C el producto tiende a tostarse al aumentar la temperatura del lecho y la del recipiente pues llega a alcanzar un 30% más de la temperatura de secado.

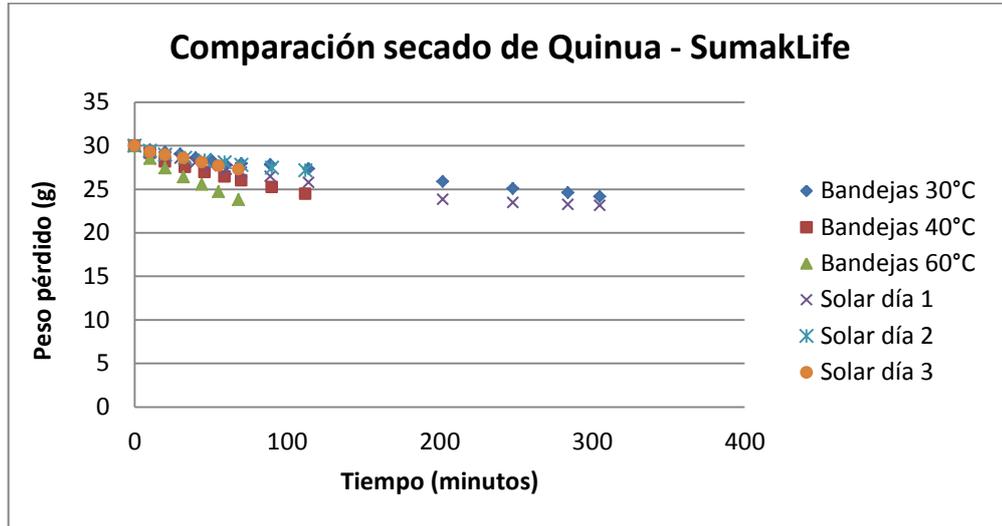
#### Comparación Muestra 1



**Figura 23-4** Comparación del secado muestra 1 en los dos secadores  
Elaborado por: Angel Mena, 2015

En la Figura 23-4 la pérdida de peso en el secador de bandejas a 30°C y el del secador solar día 1 no es muy diferente, en cambio a las temperaturas de 40 y 60 °C con los días 2 y 3 se nota una diferencia apreciable.

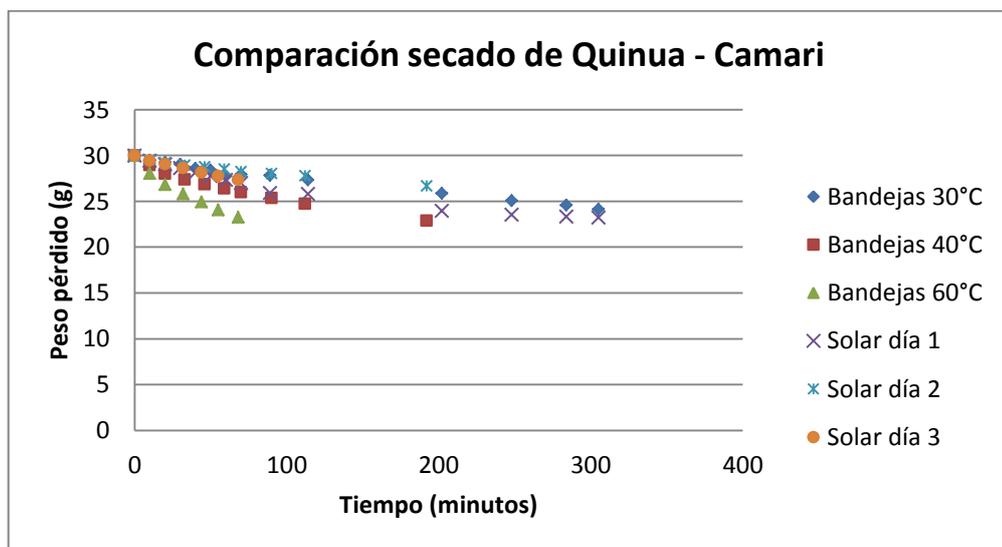
### Comparación Muestra 2



**Figura 24-4** Comparación del secado muestra 2 en los dos secadores  
Elaborado por: Angel Mena, 2015

En la Figura 24-4 el secado en bandeja la pérdida de peso es mayor que en el secador solar especialmente cuando la temperatura es mayor a 40°C.

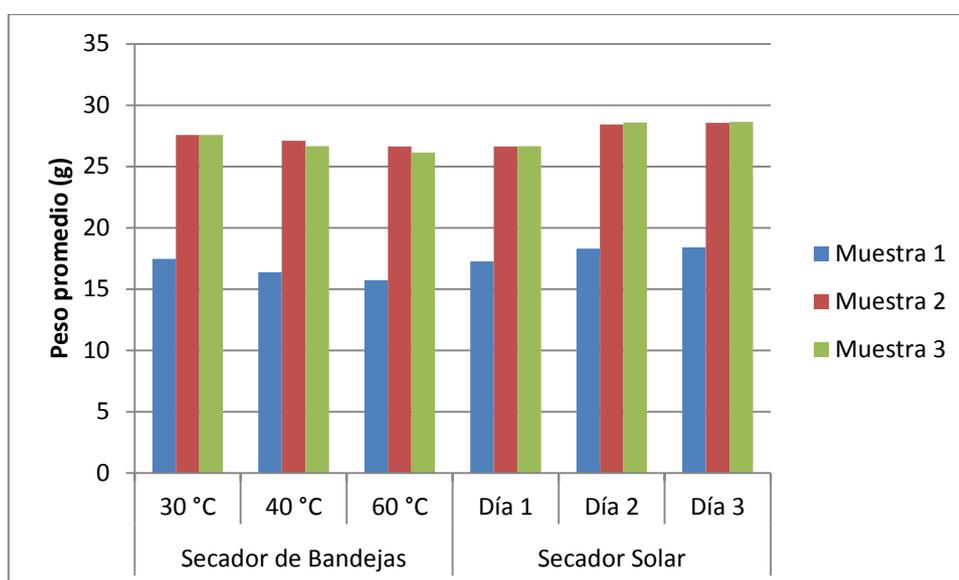
### Comparación Muestra 3



**Figura 25-4** Comparación del secado muestra 3 en los dos secadores  
Elaborado por: Angel Mena, 2015

En la Figura 25-4 la pérdida de peso en el secado de bandejas es mayor que en el secador solar sobre todo cuando la temperatura es de 60 °C, esto es notorio en un tiempo de 68 minutos, se tiene un peso de la muestra de 23.2886 g en el secador de bandeja y en el secador solar es de 27.36 g.

En la Figura 26-4 se presenta en forma agrupada y con las medias de los pesos década una de las muestras en los dos secadores, se aprecia que no existe mucha diferencia entre el secado a 30 °C en el secador de Bandejas con el secador solar, pero al aumentar la temperatura a 40 y 60 °C es notoria la diferencia de pesos entre los dos secadores.



**Figura 26-4** Peso promedio de la quinua en los dos tipos de secadores  
Elaborado por: Angel Mena, 2015

#### 4.2.4 Rendimiento de secado

Para el cálculo del rendimiento de secado se utilizó la fórmula siguiente:

$$R_s = \frac{P.P.\% * 1000 \text{ kg/tn}}{100}$$

#### *Secador de Bandejas*

**Tabla 12-4** Resultados estadísticos rendimiento de secado – Secador bandejas

Muestra	Temperatura (°C)	% Humedad Inicial Base húmeda	% Humedad Final Base húmeda	P.P.	Rs
1	30	48.8048	25.3363	31.4322757	314.3227566
	40	60.4056	30.7109	42.8562357	428.5623568

	60	61.4571	19.5132	52.1127688	521.127688
2	30	33.6617	17.6203	19.4725157	194.7251568
	40	33.5631	18.4486	18.53371	185.3371003
	60	31.8348	14.0194	20.7202555	207.202555
3	30	34.4149	18.5556	19.4725481	194.7254814
	40	37.9042	18.5736	23.7399664	237.399664
	60	31.9550	12.3197	22.394198	223.9419801

Realizado por: Angel Mena, 2015

Fuente: Datos experimentales

En la tabla 12-4 por ejemplo se indica que en la muestra 1 y a 30°C evaporará 314.323 kg de agua por cada tonelada de cereal, en la misma muestra a 40°C evaporará 428.56 kg de agua por cada tonelada de cereal y a una temperatura de 60°C evaporará 521.128 kg de agua por cada tonelada de cereal. En el caso de la muestra 3 a una temperatura de 30°C evaporará 194.725 kg de agua por cada tonelada de cereal, a 40°C evaporará 237.4 kg de agua por cada tonelada de cereal y la misma muestra 3 y a 60°C se tiene que evaporará 223.94 kg de agua por cada tonelada de cereal.

De los datos se puede mencionar que el secado de quinua con cascara tiene un mayor rendimiento al eliminar la humedad con relación a las muestras 2 y 3, los resultados son buenos especialmente a temperaturas altas.

### *Secador Solar*

**Tabla 13-4** Resultados estadísticos de rendimiento de secado – Secador Solar

Muestra	Temperatura Variable	% Humedad Inicial Base húmeda	% Humedad Final Base húmeda	P.P.	Rs
1	Día 1	48.2000	28.0405	28.015064	280.15064
	Día 2	60.4056	50.0909	20.6669726	206.669726
	Día 3	61.4571	54.0808	16.0636509	160.636509
2	Día 1	33.6617	13.9513	22.9060985	229.060985
	Día 2	33.5631	26.5076	9.60031241	96.0031241
	Día 3	31.8348	24.9829	9.13378416	91.3378416
3	Día 1	34.4189	15.2851	22.5861094	225.861094
	Día 2	37.9041	30.2272	11.0027117	110.027117
	Día 3	31.9550	25.3630	8.8320806	88.320806

Realizado por: Angel Mena, 2015.

Fuente: Datos experimentales

De la tabla 13-4 se puede indicar que el rendimiento por ejemplo de la muestra 1 en el día 1 era de 280.15 kg de agua por cada tonelada de cereal, en cambio en el día 2 fue de

206.67 kg de agua por cada tonelada de cereal y en el día 3 de 160.64 kg de agua por cada tonelada de cereal. En cambio en la muestra 3 día 1 de 225.86 kg de agua por cada tonelada de cereal, el día 2 de 110.03 kg de agua por cada tonelada de cereal y en el día 3 de 88.3208 kg de agua por cada tonelada de cereal.

Se aprecia que al tener un sol radiante el rendimiento del secado de la quinua es bueno, sobre todo cuando se da buenas condiciones por unas 6 horas aproximadamente, a pesar de que en las pruebas de las muestras 2 y 3 en el día 3 se tiene un rendimiento bajo, debido a la intermitencia en la luminosidad, un clima nublado con lapsos de buen tiempo con un sol radiante.

Con la Pérdida de peso del grano por pérdida de humedad [P.P.] obtenidos anteriormente se calculó los estadísticos para de esta forma proceder con la prueba de hipótesis y ver si se cumple la hipótesis propuesta o sea afirmar estadísticamente o negarla conforme los resultados obtenidos.

**Tabla 14-4** Resultados estadísticos de los dos secadores

<b>Estadísticos</b>	<b>P.P. Secador de bandejas</b>	<b>P.P. Secador solar</b>
Media	27.859386	16.5340871
Mediana	22.394198	16.0636509
Varianza	143.918697	52.3878901
Desviación Estándar	11.9966119	7.23794792

Realizado por: Angel Mena, 2015.

Fuente: Datos experimentales

### **4.3 Validación de la Hipótesis de investigación mediante el método de Prueba de Hipótesis para dos muestras.**

#### **4.3.1 Formulación de la Hipótesis**

H<sub>0</sub>: El método para el secado de quinua de tipo forzado es igual que eficiente que el método de secado de forma natural ( $\mu_1 - \mu_2 = 0$ ).

H<sub>1</sub>: El método para el secado de quinua de tipo forzado es más eficiente que el método de secado de forma natural ( $\mu_1 > \mu_2$ ).

### 4.3.2 Estadístico de Prueba para la diferencia entre dos medias muestrales

#### Prueba de Normalidad

Se efectúa una prueba de Kolmogorov-Smirnov para constatar que los datos tienen una distribución normal, esta prueba se la realiza con los datos obteniendo el logaritmo natural de pérdida de peso del grano por pérdida de humedad [P.P.] de las tablas 12-4 y 13-4.

La prueba de Kolmogorov-Smirnov es un test estadístico de normalidad, se la puede determinar en base al p-valor, si es grande significa que, siendo cierta la hipótesis nula, el valor observado del estadístico D era esperable. Por tanto no hay razón para rechazar dicha hipótesis. Asimismo, si el p-valor fuera pequeño, ello indicaría que, siendo cierta la hipótesis nula, era muy difícil que se produjera el valor de D que efectivamente se ha observado. Ello obliga a poner muy en duda, y por tanto a rechazar, la hipótesis nula. De esta forma, para un nivel de significación  $\alpha$ , la regla de decisión para este contraste es:

Si  $p\text{-valor} \geq \alpha \Rightarrow$  Aceptar  $H_0$

Si  $p\text{-valor} < \alpha \Rightarrow$  Rechazar  $H_0$

Obviamente, la obtención del p-valor requiere conocer la distribución de D bajo la hipótesis nula y hacer el cálculo correspondiente. En el caso particular de la prueba de Kolmogorov Smirnov, la mayoría de los paquetes de software estadístico realizan este cálculo y proporcionan el p-valor directamente.

**Tabla 15-4** Resultados estadísticos de los dos secadores

Secador	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Ln_PP Bandejas	,262	9	,075	,834	9	,050
Solar	,201	9	,200*	,875	9	,139

a. Corrección de la significación de Lilliefors

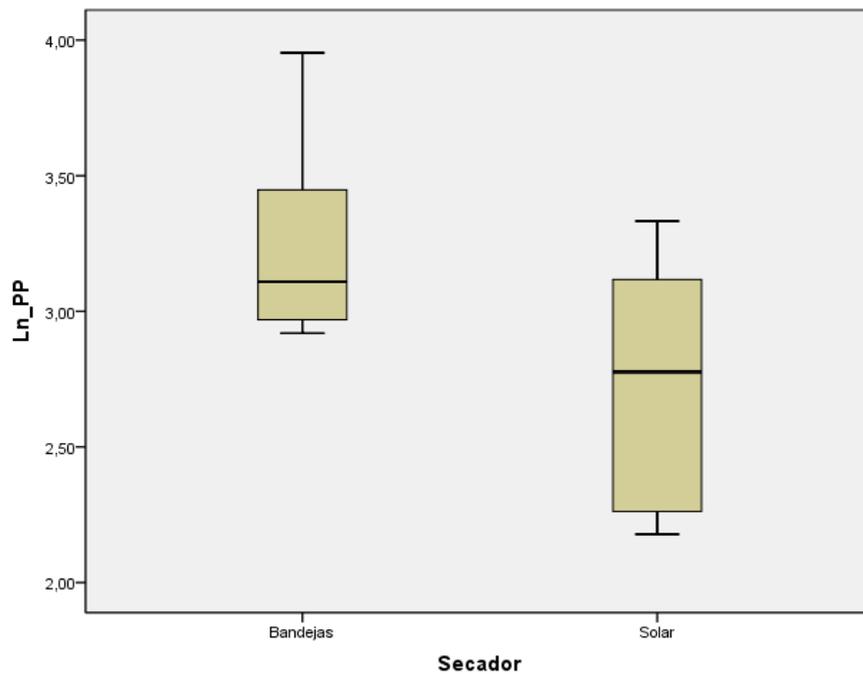
\*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

**Realizado por:** Angel Mena, 2015.

**Fuente:** Datos experimentales – SPSS

En la Tabla 15-4 se aprecia que el nivel de significancia de acuerdo a la prueba de Kolmogorov-Smirnov en los dos secadores  $p > 0.05$  (para el presente trabajo 5% nivel

de significancia) por lo que se asume la normalidad de los datos. En la Figura 27-4 se aprecia que las medias en los dos grupos son diferentes.



**Figura 27-4** Tallos y Hojas de los P.P. de los dos secadores  
Realizado por: Angel Mena, 2015

### La distribución de probabilidad t

Se utiliza la prueba t-student ya que los datos a comparar son menores a 30, y permite comparar dos muestras de variables continuas aleatorias e independientes y según la prueba de Kolmogorov-Smirnov los datos tienen una distribución normal, y se realiza el test t-student para muestras independientes ya que esta opción debe utilizarse cuando la comparación se realice entre las medias de dos poblaciones independientes (los individuos de una de las poblaciones son distintos a los individuos de la otra). A más de los estadísticos de la Tabla 14-4 calculamos otras.

$$\begin{aligned} \text{Covarianza} &= 21.220641 \\ \text{Coeficiente de correlación} &= 0,24439057 \\ v - \text{grados de libertad } (n_1 + n_2 - 2) &= 16 \end{aligned}$$

Con el nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$  y los grados de libertad (16) en tablas obtenemos el t-student (Anexo C), que es:

$$t_{\alpha} = 1.7459$$

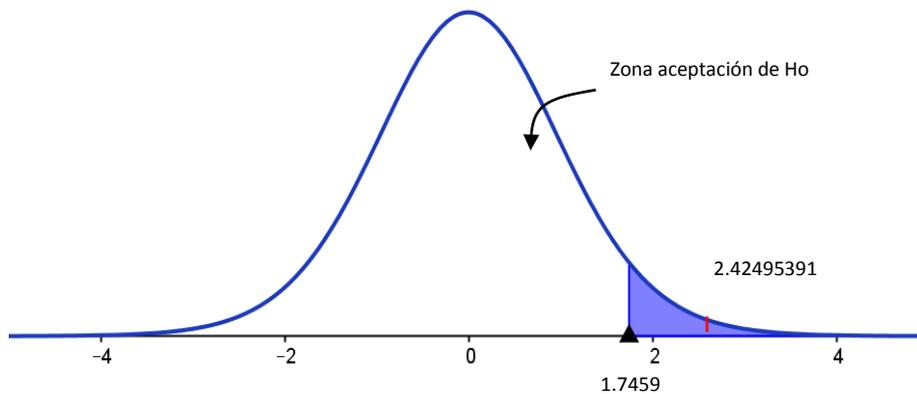
$\delta = 0$  para el caso estudiado, con lo cual se procede a calcular  $t$  con la fórmula:

$$t = \frac{[(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - \delta]}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2}}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}}$$

$$t = \frac{[(27.859386 - 16.5340871) - 0]}{\sqrt{\frac{(9 - 1)(11.9966119)^2 + (9 - 1)(7.23794792)^2}{9 + 9}}} \sqrt{\frac{9 \cdot 9(9 + 9 - 2)}{9 + 9}}$$

$$t = 2.42495391$$

Donde:  $\bar{x}_1$  = Media muestral datos (P.P), secador de bandejas;  $\bar{x}_2$  = Media muestral datos (P.P), secador solar;  $s_1^2$  = Desviación estándar, secador de bandejas;  $s_2^2$  = Desviación estándar, secador solar;  $n_1$  = número de datos secador de bandejas;  $n_2$  = número de datos, secador solar



**Figura 28-4** Prueba de hipótesis  $t$   
Realizado por: Angel Mena, 2015.

**Tabla 16-4** Resultados Prueba de Hipótesis  $t$

	Distribución $t$ tabulada ( $t_t$ )	Distribución $t$ calculada ( $t_c$ )	Sig. (valor $p$ )
Muestra 1	2.1318	2.9700274	0.041
Muestra 2	2.1318	1,2492101	0.280
Muestra 3	2.1318	1.7363435	0.158
Secadores total	1.7459	2.42495391	0.028

Realizado por: Angel Mena, 2015.  
Fuente: Datos experimentales

### Toma de decisión

Como  $t > t_\alpha$  se Rechaza la Hipótesis Nula ( $H_0$ ) ( $\mu_1 - \mu_2 = 0$ ), y se acepta la hipótesis de investigación ( $H_1$ ). Por lo tanto se dice que el secado de quinua con aire forzado es más eficiente que el secado con aire natural. En el anexo D se presenta la prueba de hipótesis de cada muestra.

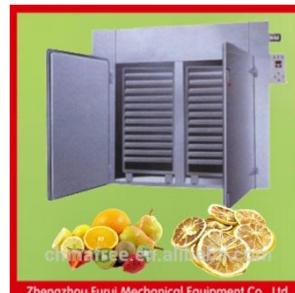
## Costos secadores

Referente a los costos de los dos tipos de secadores, en lo que concierne a la experimentación el secador de bandejas tiene un precio aproximado de 1200 dólares con una capacidad de secar de 10 kg por cada lote, en cuanto al secador solar tipo invernadero su costo fue de 30 dólares con una capacidad de secado de 10 kg por cada lote, si se compara el consumo de energía se tiene que ambos oscilan entre 0.15 a 0.3 Kw.

Si la cantidad a secar es por tonelada y en forma industrial se tiene que implementar un secador de tipo industrial, el mismo que en el mercado se encuentra en un valor de entre 2000-12500 dólares pero en el país de origen, este tipo de secador posee las siguientes características.

### Datos Básicos

Voltaje:	380v/220v	Lugar del origen:	China (Continental)
Condición:	Nuevo	Número de Modelo:	Frhc- 2
Energía (W):	0.45kw	Tipo:	Deshidratante
Certificación:	ce y la iso	Dimensión (L*W*H):	2300*1200*2000
el nombre de:	industrial secador...	de la capacidad:	100kg/tiempo
vapor de agua que se consume:	18kg/h	el área de refrigeración:	20m <sup>2</sup>
superior e inferior de la temperatura:	±2	número de coche de secado:	pices 2
tamaño de la máquina:	2300*1200*2000		
Marca:	furui		
Peso:	800kg		
Garantía:	un año de garantía		
Servicio After-sales proporcionado:	Dirige disponible...		
de energía:	0.45kw		
el volumen de aire:	3450m <sup>3</sup>		
número de la bandeja:	pices 48		



**Figura 29-4** Datos básicos de un secador de bandejas - China

**Fuente:** <http://spanish.alibaba.com/product-gs-img/ma-z-secador-hierba-secadora-industrial-bandeja-de-secador-60082534580.html>

En cambio el coste de un secador solar tipo invernadero en el mercado tiene un precio de 5 dólares el m<sup>2</sup>, para 20 m<sup>2</sup>, plástico extra y otros accesorios tenemos un total de 200 dólares, que se lo puede adaptar a las condiciones de secado de la quinua.

## CONCLUSIONES

Se obtiene mejor interacción de la transferencia de calor entre el grano y el medio ambiente que le rodea removiendo la quinua cada 60 minutos, dependiendo de la altura del lecho.

El secado de la quinua resulta mejor cuando se encuentra sin cascara y homogénea.

El secado de la quinua a temperatura menor a 40 °C en el secador de bandejas no es muy diferente en su eficiencia al secador solar en un día con buen sol durante 5 horas continuas, que se desprende del experimento a temperatura de 30 °C en el secador de bandejas y el primer día de secado en el secador solar.

La temperatura del aire tiene alta influencia, al igual que su velocidad en el secado de la quinua, teniendo en cuenta que a mayor temperatura se tiene mayor velocidad de secado.

El modelo que mejor se ajusta a los datos experimentales, considerando la humedad en base húmeda vs el tiempo es el modelo de Henderson and Pabis ( $R^2$  de 0.998 aproximadamente), pero al considerar la teoría del secado, a las pruebas estándar y de otros autores se da entre la humedad en base seca (adimensional) vs el tiempo es el modelo de Page ( $R^2$  de 0.9995 aproximadamente).

Se determinó estadísticamente que el secado de quinua con mejor rendimiento y eficiencia se da en un secador de bandejas, principalmente cuando la cantidad de producto es elevado y las condiciones atmosféricas no son buenas (cielo nublado).

## **RECOMENDACIONES**

En investigaciones de este tipo se requiere un equipo de trabajo para que cada persona realice un trabajo específico.

Se recomienda manejar correctamente los instrumentos de medida, calibrarles en cada medida que se realice y tomar nota correctamente.

Al realizar los diferentes análisis estadísticos, los cálculos deben ser realizados con una precisión mínimo de 4 cifras significativas con lo cual se disminuye el error por cálculo.

Se debería realizar un estudio detallado tomando en cuenta diferentes situaciones especialmente con el secador solar, experimentando con una mayor velocidad del aire y combinado con un colector solar para el mismo, como realizar un estudio de germinación.

Ensayar con diferentes espesores de lechos y un modelado computacional, para estimar el tiempo de secado tomando en cuenta los diferentes parámetros como son: la temperatura del lecho, velocidad del aire, humedad de la quinua y las condiciones del medio ambiente, para determinar las condiciones básicas para el diseño de un secador óptimo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Álvarez, M., & otros, (1977).** Curso de Quinua. Lima - Perú: Ministerio de alimentación.
- Araneda, A. (2014).** Evaluación técnica de dos sistemas de secado de granos de maíz (*Zea mays L.*), mediante modelación a escala industrial. 20. Chillán, Chile: Universidad de Concepción. pp. 1-120
- Bakker-arkema, F. W.; Lerew, L. E.; De Boer, S. F.; Roth, M. C., (1974).** Grain drying simulation. Michigan: Research report from de Michigan, State University East Lansing-MI. pp. 1-9
- Bazile, D. E. (2014).** Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013. FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montpellier, Francia). pp. 1-25.
- Calle, M., Aguirre, G., Ugarte, M., & Gabriel, J. (2010).** Efecto del método de secado y nivel de humedad en la germinación y vigor de semillas de quinua. *Revista de Agricultura*, año 62(49), pp. 10-14.
- Castiglioni, G., Silva, F., Caliarì, M., & Soares Junior, M. (2013).** Modelagem matemática do processo de secagem da massa fibrosa de mandioca. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(9), pp. 987-994.
- Castillo, H., & Santibañez, F. (1981).** Evaluación de la radiación solar global y luminosidad en Chile. Calibración de fórmulas para estimar radiación solar global diaria.  
<http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/agritec/NR11828.pdf>  
2015-05-21
- Chayjan, R., & Shadidi, B. (2014).** Modeling high-moisture fababean drying in fixed and semi-fluidized bed condition. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38, pp. 200-211.
- Condorhuamán C., A. J. (2004).** Secado de granos, cereales en lecho surtidor convencional. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 7(1), pp. 7-13.

**Córdova, M.** (2003). Estadística Descriptiva e Inferencial. Lima, Perú: Moshera S.R.I.  
pp. 63-100

**Corrêa, P. C., Resende, O., Ana P. Martinazzo, A. P., Goneli, A. L., & Botelho, F. M.** (2007). Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas. *Engenharia Agrícola*, 27(2), pp. 501-510.

**Guevara, S.** (2003). Teoría para el diseño de calentadores solares de agua, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cosude/xx.pdf>  
2015-06-20

**Jacobsen, S., & Sherwood, S.** (2002). Cultivos de granos andinos en Ecuador: informe sobre los rubros quínuá, chocho y amaranto. FAO/Centro Internacional de la Papa (CIP). Quito: Catholic Relief Services (CRS). pp. 1-12

**Lara Aravena, E., Vega Gálvez, A., Sanders Maya, M., Miranda, M., & Martínez, E.** (2013). Estudio de Secado Industrial de la Quinua (*Chenopodium Quinoa* Willd) cultivada en Chile., de:  
<http://myslide.es/documents/ilara-aravena-elena-estudo-del-secado-industrialind.html>  
2015-06-14

**León, J. M.** (2003). Cultivo de la Quínuá en Puno-Peru descripción, manejo y producción. (P. Puno, Productor), de:  
<http://www.monografias.com/trabajos-pdf/cultivo-quinua-puno-peru/cultivo-quinua-puno-peru.pdf>  
2015-04-15

**López, A., Vírveda Chamorro, M., & Abril Requena, J.** (1995). Modelización de la cinética de secado de patata cortada en láminas. *Alimentaria: Revista de tecnología e higiene de los alimentos*(268), pp. 43-48.

**López, A., Vírveda, P., & Abril, J.** (1993). Modelización de la Cinética de Secado de la Patata cortada en láminas., de:

[http://www.acyja.com/documentos/Publicaciones/Revistas\\_pepe/Alimentaria%20268.pdf](http://www.acyja.com/documentos/Publicaciones/Revistas_pepe/Alimentaria%20268.pdf)

2014-10-15

**Mahecha, J.** (2011). Determinación de los parámetros para la simulación matemática del proceso de deshidratación de la uchuva. de:

<http://www.bdigital.unal.edu.co/4309/1/820048.2011.pdf>

2014-11-18

**Mendenhall, W., Beaver, R., & Beaver, B.** (2010). Introducción a la probabilidad y estadística. Mexico: Cengage Learning Editores S.A. de C.V. pp. 60-119

**Moreno, F. L.** (2008). Determinación de los Parámetros para la Simulación Matemática del Secado de Almidón de Yuca. Bogota. Universidad Nacional de Colombia. p. 176

**Moscon, E. S.** (2015). Cinética de secagem e propriedades físicas de quinoa e amaranto e qualidade de sementes de quinoa (Dissertação de Mestrado em Agronomia). Brasília DF., Brasil: Universidade de Brasília.

<http://repositorio.unb.br/handle/10482/18058>.

2015-09-01

**Mujumdar, A.** (2000). Mujumdar's Practical Guide to Industrial Drying: Principles, Equipment and New Developments, Devahastin, S. Thailand: Thananuch Business Ltd. pp. 1-9

**Orellana, L.** (2001). Estadística descriptiva, de:

[http://www.hacienda.go.cr/cifh/sidovih/cursos/material\\_de\\_apoyo-f-c-cifh/1materialdeapoyocursoscifh/4estad%C3%ADsticabasica/estadisticadescriptiva-lillianaorellana.pdf](http://www.hacienda.go.cr/cifh/sidovih/cursos/material_de_apoyo-f-c-cifh/1materialdeapoyocursoscifh/4estad%C3%ADsticabasica/estadisticadescriptiva-lillianaorellana.pdf)

2015-10-01

**Page, G.** (1949). Factor Influencing the Maximum Rate of Air Drying Shelled Corn in Thin Layers., de:

<http://docs.lib.purdue.edu/dissertations/AAI1300089/>

2014-12-4

- Parra-Corronado, A., Roa-Mejia, G., & Oliveros-Tascón, C.** (2008). Modelamiento y simulación matemática en el secado mecánico de café pergamino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, v.12, n.4, p.427.
- Peralta, E.** (2009). La Quínoa en Ecuador "Estado del Arte", de: <http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/ESTADO%20DEL%20ARTE%20QUINUA%202.pdf>  
2015-01-15
- Peralta, E., Mazón, N., Murillo, A., Rivera, M., Rodríguez, D., Lomas, L., y otros.** (2012). Manual Agrícola de Granos Andinos: Chocho, Quinua, Amaranto y Ataco. Cultivos, variedades y costos de producción. Quito-Ecuador: Tercera edición, Publicación Miscelánea No. 69. Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos. Estación Experimental Santa Catalina INIAP. pp. 1 - 68
- Peréz, C.** (2000). Estudio del proceso de Secado de trigo en un sistema de lecho vibrofluidizado. Mexico: Universidad Autónoma Metropolitana. pp. 15-65
- Perry, R. H., & Chilton, C. H.** (1987). Manual del Ingeniero Químico. Edit. Mc Graw Hill. pp. 45-85.
- Pontiles de Hernades, E.** Universidad Nacional Experimental Francisco Miranda, Equipos Maquinas e Instalaciones Industriales, <https://emiiunefmzp.files.wordpress.com/2010/10/secadores-mio32.doc>  
2015-05-25
- Reátegui, C., Garay, R., & Mendieta, O.** (2014). Universidad Peruana Unión Modelado de la cinética de secado de semillas de maíz amarillo duro. [http://conacin.upeu.edu.pe/wp-content/uploads/2014/10/CIn\\_3221.pdf](http://conacin.upeu.edu.pe/wp-content/uploads/2014/10/CIn_3221.pdf)  
2015-06-15
- S., Mujundar, E.** (2000). Drying Technologies in Food Processing. Montreal: Xiao Dong Chen. pp. 1-9

- Sanjinez, E., Branco, I., Bittencourt, T., & Munhoz, C.** (2011). Influência da geometria e da temperatura na cinética de secagem de tomate (*Lycopersicon esculentum*). *Ciencia e Tecnologia de Alimentos*, pp. 308-312.
- Treybal, R. E.** (2002). *Operaciones de Transferencia de Masa*. S. A. México: McGraw-Hill. pp.15-50
- Thompson, T. L., Peart, R. M., Foster, G. H.** (1968). Mathematical simulation of corn drying - A new model. *ASAE*, v.11, n.4.
- Ulrich, G.** (1992). *Diseño y economía de los procesos de ingeniería química*. S. A. México: McGraw-Hill. pp. 25-125
- Vizcarra, M., Recio, J., Vázquez, L., & Ruiz, R.** (1998). Efecto del contenido de humedad y la temperatura en la determinación de la difusividad del agua durante el secado de trigo en lecho fluidificado. *Tecnol. Ciencia Ed. (IMIQ)*. pp. 10-80
- Zahed, A. H., & Epstein, N.** (1992). Batch and Continuous Spouted Bed Drying of Cereal Grains: The Thermal Equilibrium Model. *Can. J. Chem. Eng.*, pp. 945-953.
- Villamizar, F., y Hernández, J.** (1986). *Determinación de parámetros y simulación matemática del proceso de secado de cacao (Theobroma cacao)*. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia. pp. 18-99
- Valderrama, H. E.** (1991) *Determinación de parámetros para secado de cacao (Theobroma cacao)*. Trabajo de grado. Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia. pp. 1-80

## ANEXO A

### DATOS EXPERIMENTALES SIMPLIFICADOS A TEMPERATURA DE 30°C SECADOR DE BANDEJAS (Fuente Experimento Tesis - 2015)

#### MUESTRA 1

Curva de secado de Quinua: **Con cascara**

Temperatura de secado: **30 °C**

Fecha: **11/08/2015**

Quinua de: **Sector Tulundo-Guano**

Peso Promedio: **20 g**

Medida: **a = 1,7 mm**

Humedad inicial: **48,8048%**

**b = 1,6 mm**

**e = 0,8 mm**

Tiempo Lavado, enjuagado y escurrido: **5 min**

Altura Lecho **1,0 cm**

Muestras							
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
Tiempo (min)	Peso (g)						
0	20,02	20,01	19,65	20,04	20,03	19,85	20
10	19,6	19,6	19,29	19,41	19,66	19,29	19,71
20	19,32	19,34	19,11	19,24	19,43	18,97	19,46
30	19,15	19,14	18,91	19,02	19,19	18,69	19,24
40	18,81	18,79	18,6	18,62	18,89	18,22	18,89
50	18,58	18,55	18,4	18,42	18,63	17,95	18,65
60	18,41	18,42	18,26	18,28	18,48	17,69	18,43
70	18,15	18,17	18,04	18,06	18,37	17,3	18,14
89	17,92	17,9	17,84	17,88	18,29	17,19	17,88
114	17,46	17,45	17,28	17,37	17,8	16,34	17,43
202	15,41	15,43	15,66	15,53	15,97	15,34	15,39
248	14,51	14,54	14,96	14,69	15,03	14,78	14,64
284	13,94	13,93	14,67	14,08	14,39	14,34	14,04
305	13,61	13,76	14,08	13,75	14	13,38	13,78

Muestras							
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
Tiempo (min)	% Humedad Base húmeda						
0	48,8048	48,8048	48,8048	48,8048	48,8048	48,8048	48,8048
10	47,7078	47,7078	46,8674	47,1959	47,1959	46,8674	47,9996
20	46,9499	47,0048	46,3669	46,7293	46,7293	45,9711	47,3316
30	46,479	46,451	45,7997	46,1131	46,1131	45,1617	46,7293
40	45,5115	45,4535	44,8963	44,9555	44,9555	43,7471	45,7423
50	44,837	44,7478	44,2974	44,3579	44,3579	42,901	45,0441
60	44,3277	44,3579	43,8703	43,9317	43,9317	42,0617	44,3881
70	43,5301	43,5923	43,1858	43,2487	43,2487	40,7556	43,499
89	42,8054	42,7415	42,5489	42,6774	42,6774	40,3765	42,6774

114	41,2985	41,2649	40,687	40,9944	40,9944	37,2749	41,1975
202	33,4894	33,5756	34,5512	34,0034	34,0034	33,1859	33,403
248	29,364	29,5098	31,4888	30,2296	30,2296	30,6544	29,9913
284	26,4758	26,423	30,1344	27,2068	27,2068	28,5266	26,9994
305	24,693	25,514	27,2068	25,4598	25,4598	23,3985	25,6221

### Condiciones de secado

Tiempo (min)	°T Lecho (°C)	Interior del Secador-Invernadero		Ambiente	
		Velocidad Viento (m/s)	°T (°C) Secador	°T (°C) Ambiente	% Humedad
0	20,50	1,85	24,9	19,8	53
10	22,50	1,85	22,4	20	51
20	23,20	1,83	22,8	20,2	52
30	24,60	1,85	22,9	20,1	52
40	25,40	1,85	23,4	20,1	54
50	26,80	1,87	23,8	20,2	54
60	27,01	1,83	24,9	20,4	53
70	27,85	1,83	25,1	21	48
89	28,01	1,85	25,5	21,4	47
114	28,20	1,83	26,4	21,6	45
202	28,45	1,85	26,9	21,9	41
248	28,90	1,85	27,6	22,4	40
284	29,02	1,85	27,8	22,8	39
305	29,40	1,85	27,8	23	38

### MUESTRA 2

Curva de secado de Quinoa: **SUMAKLIFE**  
 Fecha: **11/08/2015**

Temperatura de secado: **30 °C**  
 Quinoa de: **Sector Guamote-Colta-Guano**

Peso Promedio: **30 g**  
 Humedad inicial: **33,6617%**

Medida: a = **1,8 mm**  
 b = **1,7 mm**  
 e = **1,0 mm**

Tiempo Lavado, enjuagado y escurrido: **5 min**

Altura Lecho **0,51 cm**

Tiempo (min)	Muestras						
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
0	Peso (g)						
0	29,99	29,96	29,97	30,01	29,99	29,97	30,01
10	29,5	29,55	29,4	29,44	29,5	29,55	29,64
20	29,27	29,27	29,15	29,26	29,27	29,28	29,33
30	28,99	29,13	28,86	28,94	29,07	29,15	29,16
40	28,6	28,66	28,4	28,45	28,67	28,66	28,77
50	28,4	28,49	28,22	28,32	28,52	28,52	28,55
60	28,15	28,29	27,9	27,97	28,29	28,38	28,42
70	27,81	28,02	27,59	27,66	28,01	28,23	28,27

89	27,6	27,78	27,74	27,75	27,74	28,12	28,08
114	27,31	27,3	27,21	27,23	27,31	27,69	27,52
202	25,91	25,91	25,77	25,76	25,85	26,23	25,85
248	25,14	25,11	24,92	24,91	25,01	25,54	24,92
284	24,67	24,66	24,45	24,42	24,51	25,15	24,36
305	23,94	24,3	23,84	23,95	24,32	24,8	23,93

Muestras							
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
	%	%	%	%	%	%	%
Tiempo (min)	Humedad Base húmeda						
0	33,6617	33,6617	33,6617	33,6617	33,6617	33,6617	33,6617
10	32,5599	32,674	32,3305	32,4224	32,5599	32,674	32,8784
20	32,0299	32,0299	31,7501	32,0067	32,0299	32,0531	32,169
30	31,3734	31,7033	31,0643	31,2549	31,5623	31,7501	31,7735
40	30,4376	30,5832	29,9477	30,0709	30,6075	30,5832	30,8487
50	29,9477	30,169	29,5009	29,7499	30,2425	30,2425	30,3158
60	29,3256	29,6754	28,6923	28,8708	29,6754	29,8984	29,997
70	28,4616	28,9977	27,8911	28,0736	28,9724	29,5259	29,6256
89	27,9172	28,3843	28,281	28,3069	28,281	29,2502	29,1494
114	27,1518	27,1251	26,8841	26,9378	27,1518	28,1515	27,7077
202	23,2156	23,2156	22,7984	22,7685	23,0374	24,1523	23,0374
248	20,8638	20,7692	20,1652	20,1331	20,4525	22,1032	20,1652
284	19,3561	19,3234	18,6305	18,5305	18,8297	20,8953	18,3299
305	16,8971	18,1282	16,5485	16,9318	18,1956	19,7789	16,8623

*Condiciones de secado*

Tiempo (min)	°T Lecho (°C)	Interior del Secador-Invernadero		Ambiente	
		Velocidad Viento (m/s)	°T (°C) Secador	°T (°C) Ambiente	% Humedad
0	20,50	1,85	24,9	19,8	53
10	22,50	1,85	22,4	20	51
20	23,20	1,83	22,8	20,2	52
30	24,20	1,85	22,9	20,1	52
40	24,30	1,85	23,4	20,1	54
50	24,50	1,87	23,8	20,2	54
60	24,60	1,83	24,9	20,4	53
70	24,60	1,83	25,1	21	48
89	26,10	1,85	25,5	21,4	47
114	28,30	1,83	26,4	21,6	45
202	28,45	1,85	26,9	21,9	41
248	28,90	1,85	27,6	22,4	40
284	29,02	1,85	27,8	22,8	39
305	29,40	1,85	27,8	23	38

### MUESTRA 3

Curva de secado de Quinua: **CAMARI**  
Fecha: **11/08/2015**

Temperatura de secado: **30 °C**  
Quinua de: **Sectores: Pichincha,  
Cotopaxi, Chimborazo**

Peso Promedio: **30 g**  
Humedad inicial: **34,4149%**

Medida: **a = 1,82 mm  
b = 1,78 mm  
e = 1,0 mm**

Tiempo Lavado, enjuagado y escurrido: **5 min**

Altura Lecho **0,51 cm**

Muestras							
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Tiempo (min)	Peso (g)						
0	29,99	29,96	29,97	30,01	29,99	29,97	30,01
10	29,5	29,55	29,4	29,44	29,5	29,55	29,64
20	29,27	29,27	29,15	29,26	29,27	29,28	29,33
30	28,99	29,13	28,86	28,94	29,07	29,15	29,16
40	28,6	28,66	28,4	28,45	28,67	28,66	28,77
50	28,4	28,49	28,22	28,32	28,52	28,52	28,55
60	28,15	28,29	27,9	27,97	28,29	28,38	28,42
70	27,81	28,02	27,59	27,66	28,01	28,23	28,27
89	27,6	27,78	27,74	27,75	27,74	28,12	28,08
114	27,31	27,3	27,21	27,23	27,31	27,69	27,52
202	25,91	25,91	25,77	25,76	25,85	26,23	25,85
248	25,14	25,11	24,92	24,91	25,01	25,54	24,92
284	24,67	24,66	24,45	24,42	24,51	25,15	24,36
305	23,94	24,3	23,84	23,95	24,32	24,8	23,93

Muestras							
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Tiempo (min)	% Humedad Base húmeda						
0	34,4149	34,4149	34,4149	34,4149	34,4149	34,4149	34,4149
10	33,3255	33,4383	33,0987	33,1896	33,3255	33,4383	33,6404
20	32,8016	32,8016	32,5249	32,7786	32,8016	32,8245	32,939
30	32,1525	32,4786	31,8469	32,0353	32,3393	32,5249	32,5481
40	31,2273	31,3713	30,743	30,8647	31,3953	31,3713	31,6337
50	30,743	30,9618	30,3013	30,5474	31,0344	31,0344	31,1069
60	30,128	30,4737	29,5019	29,6783	30,4737	30,6942	30,7918
70	29,2737	29,8038	28,7098	28,8902	29,7787	30,326	30,4246
89	28,7356	29,1973	29,0952	29,1208	29,0952	30,0534	29,9538
114	27,9788	27,9525	27,7142	27,7672	27,9788	28,9672	28,5284
202	24,0873	24,0873	23,6749	23,6453	23,9111	25,0134	23,9111
248	21,7622	21,6687	21,0715	21,0398	21,3555	22,9876	21,0715
284	20,2717	20,2393	19,5543	19,4554	19,7512	21,7933	19,2571
305	17,8405	19,0577	17,4959	17,8748	19,1243	20,6896	17,8062

## Condiciones de secado

Tiempo (min)	°T Lecho (°C)	Interior del Secador-Invernadero		Ambiente	
		Velocidad Viento (m/s)	°T (°C) Secador	°T (°C) Ambiente	% Humedad
0	20,50	1,85	24,9	19,8	53
10	22,50	1,85	22,4	20	51
20	23,20	1,83	22,8	20,2	52
30	24,20	1,85	22,9	20,1	52
40	24,30	1,85	23,4	20,1	54
50	24,50	1,87	23,8	20,2	54
60	24,60	1,83	24,9	20,4	53
70	24,60	1,83	25,1	21	48
89	26,10	1,85	25,5	21,4	47
114	28,30	1,83	26,4	21,6	45
202	28,45	1,85	26,9	21,9	41
248	28,90	1,85	27,6	22,4	40
284	29,02	1,85	27,8	22,8	39
305	29,40	1,85	27,8	23	38

## SECADOR SOLAR

### MUESTRA 1

Curva de secado de Quinua: **Con cascara**

Fecha: **22/08/2015**

Peso Promedio: **20 g**

Humedad inicial: **48,8048%**

Tiempo Lavado, enjuagado y escurrido: **5 min**

Temperatura de secado: **Variable**

Quinua de: **Sector Tulundo-Guano**

Medida: **a = 1,7 mm**

**b = 1,6 mm**

**e = 0,8 mm**

Altura Lecho **1,0 cm**

Tiempo (min)	Muestras						
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
	Peso (g)						
0	20,01	20,03	20,01	20,01	20	20	20
10	19,28	19,4	19,38	19,51	19,23	19,19	19,43
20	18,97	19,04	19,04	19,08	18,94	18,86	19,1
30	18,72	18,78	18,74	18,72	18,62	18,57	18,78
40	18,42	18,49	18,31	18,42	18,33	18,4	18,41
50	18,16	18,19	18,05	18,19	18,12	17,91	18,12
60	17,85	17,87	17,71	17,83	17,79	17,51	17,72
70	17,62	17,65	17,48	17,57	17,51	17,26	17,46
89	17,39	17,42	17,17	17,33	17,29	16,89	17,01
114	16,9	16,97	16,65	16,84	16,69	16,36	16,44
202	15,4	15,55	15,15	15,44	15,04	14,73	14,67
248	15,15	15,24	14,84	15,12	14,66	14,38	14,21
284	14,81	14,9	14,51	14,78	14,37	14,1	13,87
305	14,72	14,82	14,45	14,72	14,32	14,06	13,8

Tiempo (min)	Muestras						
	B1 % Humedad Base húmeda	B2 % Humedad Base húmeda	B3 % Humedad Base húmeda	B4 % Humedad Base húmeda	B5 % Humedad Base húmeda	B6 % Humedad Base húmeda	B7 % Humedad Base húmeda
0	48,2	48,2	48,2	48,2	48,2	48,2	48,2
10	46,2387	46,5712	46,5161	46,8725	46,0989	45,9866	46,6537
20	45,3601	45,561	45,561	45,6752	45,2736	45,0415	45,732
30	44,6304	44,8073	44,6895	44,6304	44,3331	44,1832	44,8073
40	43,7287	43,9417	43,3906	43,7287	43,4524	43,6675	43,6981
50	42,923	43,0172	42,5752	43,0172	42,797	42,1263	42,797
60	41,9318	41,9968	41,4727	41,8666	41,7359	40,8042	41,5058
70	41,1738	41,2738	40,7026	41,0064	40,8042	39,9468	40,6347
89	40,3957	40,4984	39,632	40,1894	40,051	38,6313	39,0642
114	38,6676	38,9206	37,7467	38,449	37,8959	36,6432	36,9515
202	32,6936	33,3429	31,583	32,868	31,0826	29,6322	29,3444
248	31,583	31,987	30,1538	31,4472	29,2962	27,9195	27,0571
284	30,0123	30,435	28,5653	29,8702	27,8693	26,4881	25,2691
305	29,5844	30,0595	28,2687	29,5844	27,6175	26,2789	24,89

### Condiciones de secado

Tiempo (min)	°T Lecho (°C)	Interior del Secador-Invernadero			Ambiente
		Velocidad Viento (m/s)	°T (°C) Secador	% Humedad	°T (°C) Ambiente
0	15,20	0,1	46,6	18	36
10	28,00	0,1	46,4	18	34,2
20	38,00	0,2	47,1	15	33,4
30	38,00	0,1	49,1	18	36,5
40	40,00	0,1	49,2	18	35,3
50	40,10	0,1	48,1	15	37,8
60	38,00	0,1	44,5	15	32,5
70	37,00	0,2	45	15	33,7
89	37,80	0,1	45	16	30,6
114	40,00	0,1	48,1	18	37,1
202	36,00	0,1	38,6	27	23,2
248	32,10	0,2	33,8	38	22,8
284	30,10	0,1	30,8	43	21,1
305	28,90	0,1	32	36	21

### MUESTRA 2

Curva de secado de Quinoa: **SUMAKLIFE**

Fecha: **22/08/2015**

Peso Promedio: **30 g**

Humedad inicial: **33,6617%**

Tiempo Lavado, enjuagado y escurrido: **5 min**

Temperatura de secado: **Variable**

Quinoa de: **Sector Guamote-Colta-Guano**

Medida: **a = 1,8 mm**

**b = 1,7 mm**

**e = 1,0 mm**

Altura Lecho **0,51 cm**

Muestras							
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Tiempo (min)	Peso (g)						
0	30,01	30,01	30	30	30,01	30,01	30,01
10	29,16	29,3	29,34	29,47	29,25	29,18	29,22
20	28,85	28,95	28,91	29,12	28,92	28,82	28,84
30	28,53	28,74	28,75	28,77	28,55	28,33	28,39
40	28,22	28,14	28,4	28,28	28,02	27,84	27,75
50	27,87	27,76	27,65	27,89	27,63	27,5	27,36
60	27,45	27,38	27,29	27,48	27,2	27,11	26,98
70	27,1	26,9	27,07	27,23	26,9	26,75	26,62
89	26,67	26,58	26,59	26,68	26,42	26,23	26,12
114	25,93	25,84	25,9	26,03	25,74	25,54	25,45
202	23,79	23,58	24,15	24,23	23,78	23,42	23,87
248	23,41	23,46	23,74	23,86	23,34	23,04	23,44
284	23,14	23,24	23,45	23,63	23,15	22,77	23,25
305	23,05	23,17	23,34	23,55	23,03	22,66	23,16

Muestras							
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Tiempo (min)	% Humedad Base húmeda						
0	33,6617	33,6617	33,6617	33,6617	33,6617	33,6617	33,6617
10	31,7326	32,0588	32,1514	32,4507	31,9427	31,7794	31,8728
20	30,9991	31,2374	31,1423	31,6388	31,1661	30,9272	30,9751
30	30,2251	30,735	30,7591	30,8072	30,274	29,7325	29,8811
40	29,4586	29,2581	29,9057	29,6083	28,9551	28,4958	28,2639
50	28,5728	28,2897	28,0045	28,624	27,9523	27,6117	27,2413
60	27,4799	27,2945	27,0547	27,5591	26,8133	26,5704	26,2166
70	26,5433	25,9971	26,4619	26,894	25,9971	25,5822	25,2187
89	25,3589	25,1062	25,1344	25,3869	24,6527	24,1069	23,7873
114	23,2288	22,9614	23,1399	23,5237	22,6621	22,0565	21,7809
202	16,323	15,5777	17,5703	17,8425	16,2878	15,001	16,6034
248	14,9647	15,1459	16,1467	16,5684	14,7096	13,5991	15,0735
284	13,9725	14,3426	15,1097	15,7564	14,0096	12,5746	14,3795
305	13,6366	14,0839	14,7096	15,4702	13,5616	12,1502	14,0468

*Condiciones de secado*

Tiempo (min)	°T Lecho (°C)	Interior del Secador-Invernadero			Ambiente
		Velocidad Viento (m/s)	°T (°C) Secador	% Humedad	°T (°C) Ambiente
0	15,20	0,1	46,6	18	36
10	28,00	0,1	46,4	18	34,2
20	38,00	0,2	47,1	15	33,4



10	33,1718	33,5105	33,1945	33,1264	33,2625	32,967	32,967
20	32,275	32,4609	32,3681	32,2983	32,5072	32,0176	32,1349
30	31,3537	31,4971	31,3058	31,2578	31,4971	30,9442	31,0168
40	30,1105	30,3331	30,2096	30,1848	30,2591	29,5854	29,7362
50	29,3832	29,3579	29,1799	29,1799	29,3071	28,7698	28,5889
60	28,4851	27,8824	28,1195	28,2243	28,4071	27,75	27,5905
70	27,6704	26,9726	27,1348	27,2694	27,2963	26,7279	26,5364
89	26,5364	25,8165	25,8444	25,8444	12,4126	25,1392	24,9966
114	24,968	23,9826	23,9239	23,747	23,6583	23,0915	22,8503
202	19,7026	19,4397	18,8082	17,4805	17,3419	16,7475	15,6051
248	18,4719	18,0646	17,3766	15,7857	15,8577	15,5326	14,0572
284	17,7908	17,2376	16,7827	14,8013	15,0221	14,8013	13,2236
305	17,4805	16,9583	16,4293	14,3564	14,5795	14,4681	12,7233

*Condiciones de secado*

Tiempo (min)	°T Lecho (°C)	Interior del Secador-Invernadero			Ambiente
		Velocidad Viento (m/s)	°T (°C) Secador	% Humedad	°T (°C) Ambiente
0	15,20	0,1	46,6	18	36
10	28,00	0,1	46,4	18	34,2
20	38,00	0,2	47,1	15	33,4
30	38,00	0,1	49,1	18	36,5
40	40,00	0,1	49,2	18	35,3
50	40,10	0,1	48,1	15	37,8
60	38,00	0,1	44,5	15	32,5
70	37,00	0,2	45	15	33,7
89	37,80	0,1	45	16	30,6
114	40,00	0,1	48,1	18	37,1
202	36,00	0,1	38,6	27	23,2
248	32,10	0,2	33,8	38	22,8
284	30,10	0,1	30,8	43	21,1
305	28,90	0,1	32	36	21

## DATOS EXPERIMENTALES SIMPLIFICADOS A TEMPERATURA DE 40°C SECADOR DE BANDEJAS

### MUESTRA 1

Curva de secado de Quinua: **Con cascara**

Temperatura de secado: **40 °C**

Fecha: **12/08/2015**

Quinua de: **Sector Tulundo-Guano**

Medida: **a = 1,7 mm**

Peso Promedio: **20 g**

**b = 1,6 mm**

Humedad inicial: **60,4056%**

**e = 0,8 mm**

Tiempo Lavado, enjuagado y escurrido: **5 min**

Altura Lecho **1,0 cm**

Muestras							
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
Tiempo (min)	Peso (g)						
0	20	20	20	20	20	20	20
10	19,27	19,12	19,1	19,34	19,34	19,26	19,05
20	18,48	18,24	18,18	18,66	18,63	18,44	18,33
33	17,86	17,64	17,62	17,99	17,91	17,95	17,46
46	17,36	17,15	17,13	17,56	17,38	17,43	17,27
59	16,93	16,67	16,69	17,08	16,89	16,95	16,77
70	16,51	16,28	16,3	16,69	16,48	16,53	16,01
90	15,84	15,63	15,68	16,08	15,8	15,9	15,43
112	15,17	14,94	15	15,42	15,1	15,23	14,99
259	11,5	11,34	11,41	11,63	13,61	11,46	12,13
282	11,36	11,22	11,28	11,57	12	11,37	11,24

Muestras							
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
Tiempo (min)	% Humedad Base húmeda						
0	60,4056	60,4056	60,4056	60,4056	60,4056	60,4056	60,4056
10	58,9056	58,5832	58,5399	59,0544	59,0544	58,8843	58,431
20	57,1489	56,585	56,4418	57,5622	57,4939	57,0559	56,7982
33	55,6613	55,1083	55,0574	55,9817	55,7851	55,8836	54,6455
46	54,3843	53,8257	53,7718	54,9038	54,4368	54,5675	54,1466
59	53,2257	52,4962	52,5531	53,6365	53,1149	53,2809	52,7794
70	52,0358	51,3582	51,4179	52,5531	51,9485	52,0938	50,5379
90	50,007	49,3353	49,4969	50,7532	49,8805	50,1957	48,6786
112	47,799	46,9954	47,2074	48,6453	47,557	48,0047	47,1722
259	31,1401	30,1685	30,5969	31,9098	41,8157	30,8998	34,7165
282	30,2915	29,4217	29,7971	31,5567	34,0093	30,3528	29,5473



	húmeda						
0	33,5631	33,5631	33,5631	33,5631	33,5631	33,5631	33,5631
10	32,0691	31,7436	31,2967	31,8369	31,6734	31,1543	31,2493
20	29,9202	29,4989	28,4874	29,6482	29,2487	28,641	28,641
33	28,6154	28,1006	26,7804	28,2558	27,4992	26,9681	26,8341
46	27,2612	26,6996	25,2149	26,8072	25,3828	25,7717	25,018
59	26,0196	25,3828	23,581	25,4665	24,2488	24,2776	23,3754
70	24,8484	24,1047	22,1183	24,0468	23,0798	22,6921	21,8129
90	22,8715	22,0574	19,7031	21,8129	21,1325	20,0573	19,1496
112	20,6301	19,8645	16,9262	19,411	18,9524	17,3395	16,0164

### Condiciones de secado

Tiempo (min)	°T Lecho (°C)	Interior del Secador-Invernadero		Ambiente	
		Velocidad Viento (m/s)	°T (°C) Secador	°T (°C) Ambiente	% Humedad
0	30,10	1,93	28	21,9	44
10	33,80	1,93	29,5	22,5	45
20	35,60	1,89	30,42	22,8	43
33	37,50	1,91	33,35	23,4	40
46	38,00	1,93	35	23,7	37
59	38,80	1,93	37	23,9	36
70	39,01	1,87	37,8	24,1	34
90	39,25	1,93	38,12	24,4	34
112	39,80	1,93	38,9	24,6	35

### MUESTRA 3

Curva de secado de Quinua: **CAMARI**

Fecha: **12/08/2015**

Temperatura de secado: **40 °C**

Quinua de: **Sectores: Pichincha, Cotopaxi, Chimborazo**

Medida: **a = 1,82 mm**

**b = 1,78 mm**

**e = 1,0 mm**

Peso Promedio: **30 g**

Humedad inicial: **37,9042%**

Tiempo Lavado, enjuagado y escurrido: **5 min**

Altura Lecho **0,51 cm**

Tiempo (min)	Muestras						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	Peso (g)						
0	30	30	30,05	30	30	30	30
10	29,12	29,04	28,98	29,23	28,38	28,87	28,99
20	28,31	28,19	28,03	28,39	27,6	27,69	27,96
33	27,78	27,61	27,4	27,87	27,03	26,84	27,27
46	27,32	27,12	26,91	27,4	26,48	26,11	26,69
59	26,96	26,73	26,53	26,98	26,04	25,53	26,19
70	26,57	26,33	26,14	26,64	25,6	25,02	25,71
90	26,01	25,75	25,61	26	24,94	24,29	24,99

112	25,42	25,16	25,04	25,43	24,18	23,63	24,29
192	22,85	22,95	23,03	23	22,75	22,71	22,86

Muestras							
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Tiempo (min)	% Humedad Base húmeda						
0	37,9042	37,9042	37,9042	37,9042	37,9042	37,9042	37,9042
10	36,0276	35,8514	35,7186	36,2684	34,3596	35,4737	35,7408
20	34,1973	33,9172	33,54	34,3827	32,5045	32,7239	33,3736
33	32,9419	32,529	32,0119	33,1584	31,0812	30,5933	31,6878
46	31,8128	31,3099	30,7739	32,0119	29,6497	28,6528	30,2033
59	30,9023	30,3077	29,7823	30,9535	28,461	27,0319	28,8708
70	29,888	29,249	28,7347	30,0723	27,2314	25,5446	27,5428
90	28,3785	27,6553	27,2599	28,351	25,3057	23,3069	25,4552
112	26,7162	25,9589	25,604	26,745	22,958	21,1648	23,3069
192	18,4737	18,829	19,1109	19,0054	18,1154	17,9712	18,5094

### Condiciones de secado

Tiempo (min)	°T Lecho (°C)	Interior del Secador-Invernadero		Ambiente	
		Velocidad Viento (m/s)	°T (°C) Secador	°T (°C) Ambiente	% Humedad
0	30,10	1,93	28	21,9	44
10	33,80	1,93	29,5	22,5	45
20	35,60	1,89	30,42	22,8	43
33	37,50	1,91	33,35	23,4	40
46	38,00	1,93	35	23,7	37
59	38,80	1,93	37	23,9	36
70	39,01	1,87	37,8	24,1	34
90	39,25	1,93	38,12	24,4	34
112	39,80	1,93	38,9	24,6	35
192	39,98	1,93	39,8	24,8	34

## SECADOR SOLAR

### MUESTRA 1

Curva de secado de Quinua: **Con cascara**  
 Fecha: **23/08/2015**

Temperatura de secado: **Variable**  
 Quinua de: **Sector Tulundo-Guano**

Peso Promedio: **20 g**  
 Humedad inicial: **60,4056%**

Medida: **a = 1,7 mm**  
**b = 1,6 mm**  
**e = 0,8 mm**

Tiempo Lavado, enjuagado y escurrido: **5 min**

Altura Lecho **1,0 cm**

Muestras							
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
Tiempo (min)	Peso (g)						
0	20	20	20	20	20	20	20
10	19,37	19,43	19,54	19,34	19,49	19,4	19,38
20	19,16	19,18	19,24	19,19	19,25	19,16	19,17
33	18,92	18,9	18,93	18,87	19,04	18,97	18,97
46	18,74	18,71	18,7	18,66	18,83	18,69	18,75
59	18,58	18,54	18,56	18,51	18,69	18,56	18,58
70	18,41	18,34	18,35	18,33	18,5	18,39	18,43
90	18,2	18,14	18,13	18,11	18,28	18,13	18,21
112	17,97	17,92	17,92	17,9	18,06	17,92	18,01
259	16,07	15,98	15,87	16,1	16,24	16,14	16,36
282	15,85	15,78	15,54	15,9	15,96	15,88	16,17

Muestras							
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
Tiempo (min)	% Humedad Base húmeda						
0	60,4056	60,4056	60,4056	60,4056	60,4056	60,4056	60,4056
10	59,1178	59,244	59,4735	59,0544	59,3695	59,181	59,1389
20	58,6697	58,7128	58,8416	58,7343	58,863	58,6697	58,6913
33	58,1454	58,1012	58,1676	58,0345	58,4092	58,2558	58,2558
46	57,7434	57,6757	57,653	57,5623	57,9454	57,6304	57,766
59	57,3795	57,2876	57,3336	57,2184	57,6304	57,3336	57,3795
70	56,986	56,8218	56,8453	56,7982	57,1952	56,9392	57,0327
90	56,4897	56,3457	56,3217	56,2734	56,6801	56,3217	56,5136
112	55,9328	55,8098	55,8098	55,7604	56,1524	55,8098	56,0306
259	50,7226	50,445	50,1016	50,8144	51,2384	50,9363	51,5961
282	50,0386	49,817	49,0419	50,1957	50,3829	50,133	51,0273

### Condiciones de secado

Tiempo (min)	°T Lecho (°C)	Interior del Secador-Invernadero			Ambiente
		Velocidad Viento (m/s)	°T (°C) Secador	% Humedad	°T (°C) Ambiente
0	18,00	0,1	18,5	65	28
10	25,00	0,1	31,2	59	25,1
20	28,00	0,2	38	40	23,2
33	30,00	0,1	40,5	32	22,4
46	35,00	0,1	38,8	34	23,3
59	38,00	0,1	37,5	39	25
70	29,30	0,1	39,7	39	29

90	32,20	0,2	37,3	39	23,5
112	33,40	0,1	34,8	47	23,1
259	40,10	0,1	42,1	33	29,5
282	37,00	0,1	40	37	31,9

## MUESTRA 2

Curva de secado de Quinua: **SUMAKLIFE**

Fecha: **23/08/2015**

Temperatura de secado: **Variable**

Quinua de: **Sector Guamote-Colta-Guano**

Medida: **a = 1,8 mm**

**b = 1,7 mm**

**e = 1,0 mm**

Peso Promedio: **30 g**

Humedad inicial: **33,5631%**

Tiempo Lavado, enjuagado y escurrido: **5 min**

Altura Lecho **0,51 cm**

Muestras							
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Tiempo (min)	Peso (g)						
0	30,01	30	30	30	30	30	30
10	29,35	29,32	29,4	29,42	29,45	29,39	29,39
20	28,45	28,91	28,98	29,15	29,14	29,08	29,08
33	27,93	28,55	28,63	28,79	28,84	28,75	28,76
46	27,41	28,3	28,38	28,55	28,49	28,43	28,55
59	26,95	28,06	28,21	28,39	28,37	28,34	28,29
70	26,53	27,72	27,87	28,05	28,16	28,1	28,05
90	25,85	27,43	27,55	27,79	27,92	27,85	27,79
112	25,12	27,17	27,35	27,53	27,72	27,62	27,59

Muestras							
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Tiempo (min)	% Humedad Base húmeda						
0	33,5631	33,5631	33,5631	33,5631	33,5631	33,5631	33,5631
10	32,0692	31,9996	32,1847	32,2308	32,2998	32,1616	32,1616
20	29,9202	31,0353	31,2018	31,6031	31,5796	31,4384	31,4384
33	28,6155	30,1657	30,3608	30,7478	30,8679	30,6515	30,6756
46	27,2612	29,5487	29,7473	30,1657	30,0186	29,8709	30,1657
59	26,0197	28,9462	29,324	29,7721	29,7226	29,6482	29,5238
70	24,8485	28,0747	28,4618	28,9208	29,1985	29,0473	28,9208
90	22,8716	27,3142	27,6308	28,2558	28,5899	28,4104	28,2558
112	20,6302	26,6187	27,1016	27,5783	28,0747	27,8142	27,7358

### Condiciones de secado

Tiempo (min)	°T Lecho (°C)	Interior del Secador-Invernadero			Ambiente
		Velocidad Viento (m/s)	°T (°C) Secador	% Humedad	°T (°C) Ambiente
0	18,10	0,1	35,4	45	21,8
10	22,00	0,1	39,7	36	22,6
20	30,00	0,2	40,2	31	22,3
33	35,50	0,1	38,1	34	24,1
46	27,90	0,1	38,3	41	29,4
59	29,50	0,1	39,5	34	26,8
70	30,50	0,1	36,2	39	23,1
90	28,40	0,2	34,2	46	23,8
112	28,80	0,1	43,5	38	37,9

### MUESTRA 3

Curva de secado de Quinua: **CAMARI**  
 Fecha: **23/08/2015**

Temperatura de secado: **Variable**  
 Quinua de: **Sectores: Pichincha, Cotopaxi, Chimborazo**

Peso Promedio: **30 g**  
 Humedad inicial: **37,9041%**

Medida: **a = 1,82 mm**  
**b = 1,78 mm**  
**e = 1,0 mm**

Tiempo Lavado, enjuagado y escurrido: **5 min**

Altura Lecho **0,51 cm**

Tiempo (min)	Muestras						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	Peso (g)						
0	30	30	30	30	30	30	30,01
10	29,46	29,57	29,55	29,61	29,58	29,51	29,6
20	29,08	29,24	29,22	29,29	29,21	29,16	29,28
33	28,79	28,95	28,92	29,04	29	28,88	29,03
46	28,6	28,79	28,75	28,87	28,82	28,71	28,89
59	28,28	28,52	28,5	28,67	28,68	28,52	28,63
70	28,02	28,21	28,16	28,3	28,37	28,28	28,39
90	27,75	28,02	27,96	28,13	28,16	28,11	28,16
112	27,44	27,81	27,68	27,87	27,95	27,86	27,93
192	25,9	26,64	26,4	26,76	27,22	26,94	27,08

Tiempo (min)	Muestras						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	% Humedad Base húmeda						
0	37,9041	37,9041	37,9041	37,9041	37,9041	37,9041	37,9041
10	36,7659	37,0011	36,9585	37,0862	37,0224	36,873	37,065

20	35,9396	36,2901	36,2465	36,3989	36,2247	36,1153	36,3772
33	35,2943	35,6519	35,5852	35,8514	35,7629	35,496	35,8293
46	34,8645	35,2943	35,2043	35,4736	35,3617	35,114	35,5183
59	34,1274	34,6818	34,6359	35,0235	35,0462	34,6818	34,9327
70	33,5162	33,964	33,8467	34,174	34,3364	34,1274	34,3827
90	32,8693	33,5162	33,3735	33,7762	33,8467	33,729	33,8467
112	32,1109	33,0142	32,6996	33,1584	33,3497	33,1344	33,302
192	28,0743	30,0722	29,4365	30,3858	31,5622	30,8509	31,2084

*Condiciones de secado*

Tiempo (min)	°T Lecho (°C)	Interior del Secador-Invernadero			Ambiente
		Velocidad Viento (m/s)	°T (°C) Secador	% Humedad	°T (°C) Ambiente
0	18,00	0,1	28,5	65	28
10	33,80	0,1	36,5	44	22,3
20	37,00	0,2	40,1	35	22,6
33	32,70	0,1	39,6	31	22,8
46	32,90	0,1	38,1	34	24,1
59	35,10	0,1	39,4	37	24,3
70	33,00	0,1	38,8	36	29,5
90	31,90	0,2	35,6	41	27,5
112	30,80	0,1	33,8	46	25,7
192	40,10	0,1	45	35	25,1

## DATOS EXPERIMENTALES SIMPLIFICADOS A TEMPERATURA DE 60°C

### SECADOR DE BANDEJAS

#### MUESTRA 1

Curva de secado de Quinoa: **Con cascara**

Fecha: **13/08/2015**

Peso Promedio: **20 g**

Humedad inicial: **61,4571%**

Tiempo Lavado, enjuagado y escurrido: **5 min**

Temperatura de secado: **60 °C**

Quinoa de: **Sector Tulundo-Guano**

Medida: **a = 1,7 mm**

**b = 1,6 mm**

**e = 0,8 mm**

Altura Lecho **1,0 cm**

Muestras							
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
Tiempo (min)	Peso (g)						
0	20,02	20	20	20,1	20	20	20
10	19,14	18,98	18,81	18,73	18,71	18,5	18,55
20	18,22	18,1	17,79	17,28	17,78	17,39	17,44
30	17,19	17,19	16,81	16,15	16,8	16,38	16,46
43	16,21	16,41	15,97	15,17	15,96	15,57	15,65
56	15,41	15,73	15,19	14,24	15,27	14,73	14,83
69	14,54	14,97	14,41	13,3	14,52	13,94	14,09
83	13,66	14,18	13,59	12,37	13,74	13,12	13,34
155	9,29	10,57	9,76	8,6	10,12	9,37	9,65

Muestras							
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
Tiempo (min)	% Humedad Base húmeda						
0	61,4571	61,4571	61,4571	61,4571	61,4571	61,4571	61,4571
10	59,685	59,3451	58,9777	58,8025	58,7584	58,2903	58,4027
20	57,6493	57,3685	56,6257	55,3455	56,6013	55,628	55,7552
30	55,1117	55,1117	54,097	52,2211	54,0697	52,892	53,1209
43	52,3979	52,9781	51,6826	49,1345	51,6523	50,4413	50,6946
56	49,9267	50,9454	49,2015	45,8125	49,4676	47,6151	47,9683
69	46,9306	48,4549	46,4518	41,9827	46,8575	44,6464	45,2357
83	43,5117	45,5832	43,2208	37,6209	43,8406	41,1868	42,1567
155	16,9398	26,9982	20,9396	10,2756	23,752	17,6489	20,0384

Condiciones de secado

Tiempo (min)	°T Lecho (°C)	Interior del Secador-Invernadero		Ambiente	
		Velocidad Viento (m/s)	°T (°C) Secador	°T (°C) Ambiente	% Humedad
0	35,10	1,93	30	21,9	44
10	40,01	1,93	31,8	22,4	45
20	45,23	1,89	33,5	22,8	41
30	54,10	1,91	39	23,1	38
43	56,00	1,93	41,5	23,7	34
56	57,80	1,93	48	24	31
69	59,01	1,87	52	24,5	29
83	59,23	1,93	55,01	24,8	28
155	59,99	1,93	58,2	25	27

**MUESTRA 2**

Curva de secado de Quinua: **SUMAKLIFE**

Fecha: **12/08/2015**

Temperatura de secado: **60 °C**

Quinua de: **Sector Guamote-Colta-Guano**

Medida: **a = 1,8 mm**

**b = 1,7 mm**

**e = 1,0 mm**

Peso Promedio: **30 g**

Humedad inicial: **31,8348%**

Tiempo Lavado, enjuagado y escurrido: **5 min**

Altura Lecho **0,51 cm**

Muestras							
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Tiempo (min)	Peso (g)						
0	29,98	29,99	29,95	29,94	29,96	29,99	29,96
10	28,45	28,67	28,49	28,74	28,67	28,31	28,43
20	27,11	27,55	27,34	27,8	27,66	27,1	27,41
32	25,77	26,58	26,31	26,89	26,66	26,15	26,55
44	24,67	25,74	25,47	26,1	25,83	25,27	25,78
55	23,55	25	24,67	25,26	25,02	24,45	25,01
68	22,43	23,96	23,89	24,11	24,11	23,68	24,3

Muestras							
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Tiempo (min)	% Humedad Base húmeda						
0	31,8348	31,8348	31,8348	31,8348	31,8348	31,8348	31,8348
10	28,169	28,7202	28,2698	28,8938	28,7202	27,8138	28,1185
20	24,6185	25,8224	25,2527	26,4895	26,1174	24,5907	25,4436
32	20,6988	23,1154	22,3264	24,0018	23,3461	21,8512	23,0285

44	17,1629	20,6064	19,7647	21,7015	20,883	19,1297	20,7296
55	13,2233	18,2563	17,1629	19,0977	18,3217	16,4175	18,289
68	8,8902	14,7082	14,4583	15,2388	15,2388	13,6997	15,9016

### Condiciones de secado

Tiempo (min)	°T Lecho (°C)	Interior del Secador-Invernadero		Ambiente	
		Velocidad Viento (m/s)	°T (°C) Secador	°T (°C) Ambiente	% Humedad
0	35,10	1,93	30	21,9	44
10	40,01	1,93	31,8	22,4	45
20	45,23	1,89	33,5	22,8	41
32	54,10	1,91	39	23,1	38
44	56,00	1,93	41,5	23,7	34
55	57,80	1,93	48	24	31
68	59,01	1,87	52	24,5	29

### MUESTRA 3

Curva de secado de Quinua: **CAMARI**

Fecha: **13/08/2015**

Temperatura de secado: **60 °C**

Quinua de: **Sectores: Pichincha, Cotopaxi, Chimborazo**

Medida: **a = 1,82 mm**

**b = 1,78 mm**

**e = 1,0 mm**

Peso Promedio: **30 g**

Humedad inicial: **31,955%**

Tiempo Lavado, enjuagado y escurrido: **5 min**

Altura Lecho **0,51 cm**

Tiempo (min)	Muestras						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
0	30	30	30	30	30	30	30
10	28,49	28,24	27,77	28,21	28,08	27,73	27,72
20	27,37	27,08	26,5	27,19	26,86	26,45	26,43

32	26,3	26,12	25,54	26,21	25,85	25,45	25,33
44	25,34	25,27	24,62	25,34	24,96	24,73	24,33
55	24,48	24,52	23,79	24,43	24,06	23,99	23,21
68	23,59	23,67	23,1	23,5	23,41	23,33	22,42

Tiempo (min)	Muestras						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
0	31,955	31,955	31,955	31,955	31,955	31,955	31,955
10	28,3485	27,7142	26,4908	27,6373	27,3023	26,3847	26,3582

20	25,4165	24,6177	22,9679	24,9227	24,0003	22,8223	22,7639
32	22,3821	21,8472	20,0724	22,1156	21,0309	19,7897	19,4097
44	19,4415	19,2184	17,0856	19,4415	18,2151	17,4545	16,0974
55	16,6115	16,7475	14,1929	16,4408	15,1558	14,9082	12,0486
68	13,4654	13,7579	11,6298	13,134	12,8	12,501	8,9495

### Condiciones de secado

Tiempo (min)	°T Lecho (°C)	Interior del Secador-Invernadero		Ambiente	
		Velocidad Viento (m/s)	°T (°C) Secador	°T (°C) Ambiente	% Humedad
0	35,10	1,93	30	21,9	44
10	40,01	1,93	31,8	22,4	45
20	45,23	1,89	33,5	22,8	41
32	54,10	1,91	39	23,1	38
44	56,00	1,93	41,5	23,7	34
55	57,80	1,93	48	24	31
68	59,01	1,87	52	24,5	29

## SECADOR SOLAR

### MUESTRA 1

Curva de secado de Quinua: **Con cascara**

Fecha: **26/08/2015**

Peso Promedio: **20 g**

Humedad inicial: **60,4056%**

Tiempo Lavado, enjuagado y escurrido: **5 min**

Temperatura de secado: **Variable**

Quinua de: **Sector Tulundo-Guano**

Medida: **a = 1,7 mm**

**b = 1,6 mm**

**e = 0,8 mm**

Altura Lecho **1,0 cm**

Tiempo (min)	Muestras						
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
	Peso (g)						
0	20,01	20,03	20,01	20,01	20	20	20
10	19,28	19,4	19,38	19,51	19,23	19,19	19,43
20	18,97	19,04	19,04	19,08	18,94	18,86	19,1
30	18,72	18,78	18,74	18,72	18,62	18,57	18,78
44	18,42	18,49	18,31	18,42	18,33	18,4	18,41
56	18,16	18,19	18,05	18,19	18,12	17,91	18,12
68	17,85	17,87	17,71	17,83	17,79	17,51	17,72
83	17,41	17,59	17,35	17,48	17,41	17,14	17,36
155	16,79	17,01	16,75	16,93	16,89	16,5	16,71

Muestras							
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
Tiempo (min)	% Humedad Base húmeda						
0	61,4571	61,4571	61,4571	61,4571	61,4571	61,4571	61,4571
10	59,9977	60,2452	60,2041	60,4693	59,8937	59,8101	60,3065
20	59,344	59,4935	59,4935	59,5784	59,2796	59,1069	59,6207
30	58,8011	58,9327	58,845	58,8011	58,5798	58,4683	58,9327
44	58,1301	58,2886	57,8785	58,1301	57,9245	58,0846	58,1073
56	57,5306	57,6007	57,2718	57,6007	57,4369	56,9378	57,4369
68	56,793	56,8414	56,4515	56,7446	56,6473	55,9541	56,4761
83	55,7011	56,1544	55,5479	55,8785	55,7011	55,0033	55,5735
155	54,0653	54,6594	53,9556	54,4451	54,3372	53,2579	53,8454

### Condiciones de secado

Tiempo (min)	°T Lecho (°C)	Interior del Secador-Invernadero			Ambiente
		Velocidad Viento (m/s)	°T (°C) Secador	% Humedad	°T (°C) Ambiente
0	15,20	0,1	46,6	18	36
10	28,00	0,1	46,4	18	34,2
20	38,00	0,1	47,1	15	33,4
30	38,00	0,2	49,1	18	36,5
44	40,00	0,1	49,2	18	35,3
56	40,10	0,1	48,1	15	37,8
68	38,00	0,2	44,5	15	32,5
83	37,00	0,1	45	15	33,7
155	37,80	0,1	45	16	30,6

### MUESTRA 2

Curva de secado de Quinoa: **SUMAKLIFE**

Fecha: **26/08/2015**

Peso Promedio: **30 g**

Humedad inicial: **31,8348%**

Tiempo Lavado, enjuagado y escurrido: **5 min**

Temperatura de secado: **Variable**

Quinoa de: **Sector Guamote-Colta-Guano**

Medida: **a = 1,8 mm**

**b = 1,7 mm**

**e = 1,0 mm**

Altura Lecho **0,51 cm**

Muestras							
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Tiempo (min)	Peso (g)						
0	30,01	30,01	30	30	30,01	30,01	30,01
10	29,16	29,3	29,34	29,47	29,25	29,18	29,22
20	28,85	28,95	28,91	29,12	28,92	28,82	28,84
32	28,53	28,74	28,75	28,77	28,55	28,33	28,39

44	28,22	28,14	28,4	28,28	28,02	27,84	27,75
55	27,87	27,76	27,65	27,89	27,63	27,5	27,36
68	27,45	27,38	27,29	27,48	27,2	27,11	26,98

Muestras							
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Tiempo (min)	% Humedad Base húmeda						
0	31,8348	31,8348	31,8348	31,8348	31,8348	31,8348	31,8348
10	29,8478	30,183	30,2782	30,5858	30,0637	29,8959	29,9919
20	29,094	29,339	29,2412	29,7515	29,2657	29,0202	29,0695
32	28,2987	28,8227	28,8474	28,8969	28,349	27,7926	27,9452
44	27,5111	27,305	27,9705	27,6649	26,9937	26,5217	26,2834
55	26,6008	26,3099	26,0167	26,6534	25,9632	25,6132	25,2326
68	25,4777	25,2872	25,0408	25,5591	24,7928	24,5431	24,1795

### Condiciones de secado

Tiempo (min)	°T Lecho (°C)	Interior del Secador-Invernadero			Ambiente
		Velocidad Viento (m/s)	°T (°C) Secador	% Humedad	°T (°C) Ambiente
0	15,20	0,1	46,6	18	36
10	28,00	0,1	46,4	18	34,2
20	38,00	0,1	47,1	15	33,4
32	38,00	0,2	49,1	18	36,5
44	40,00	0,1	49,2	18	35,3
55	40,10	0,1	48,1	15	37,8
68	38,00	0,2	44,5	15	32,5

### MUESTRA 3

Curva de secado de Quinoa: **CAMARI**  
 Fecha: **26/08/2015**

Temperatura de secado: **Variable**  
 Quinoa de: **Sectores: Pichincha, Cotopaxi, Chimborazo**

Peso Promedio: **30 g**  
 Humedad inicial: **31,955%**

Medida: **a = 1,82 mm**  
**b = 1,78 mm**  
**e = 1,0 mm**

Tiempo Lavado, enjuagado y escurrido: **5 min**

Altura Lecho **0,51 cm**

Muestras							
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Tiempo (min)	Peso (g)						
0	30,01	30	30	30	30	30	30,01
10	29,45	29,6	29,46	29,43	29,49	29,36	29,36

20	29,06	29,14	29,1	29,07	29,16	28,95	29
32	28,67	28,73	28,65	28,63	28,73	28,5	28,53
44	28,16	28,25	28,2	28,19	28,22	27,95	28,01
55	27,87	27,86	27,79	27,79	27,84	27,63	27,56
68	27,52	27,29	27,38	27,42	27,49	27,24	27,18

Muestras							
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	%	%	%	%	%	%	%
Tiempo (min)	Humedad Base húmeda						
0	31,955	31,955	31,955	31,955	31,955	31,955	31,955
10	30,6611	31,0124	30,6846	30,6139	30,7551	30,4485	30,4485
20	29,7305	29,9234	29,8271	29,7547	29,9715	29,4635	29,5851
32	28,7746	28,9234	28,7249	28,6751	28,9234	28,3498	28,4251
44	27,4847	27,7157	27,5875	27,5618	27,6388	26,9398	27,0963
55	26,7301	26,7038	26,5192	26,5192	26,6512	26,0937	25,906
68	25,7983	25,1729	25,4189	25,5277	25,7173	25,0355	24,8701

*Condiciones de secado*

Tiempo (min)	°T Lecho (°C)	Interior del Secador-Invernadero			Ambiente
		Velocidad Viento (m/s)	°T (°C) Secador	% Humedad	°T (°C) Ambiente
0	21,00	0,1	24,5	30	31,2
10	28,00	0,1	46,4	18	34,2
20	38,00	0,1	47,1	15	33,4
32	38,00	0,2	49,1	18	36,5
44	40,00	0,1	49,2	18	35,3
55	40,10	0,1	48,1	15	37,8
68	38,00	0,2	44,5	15	32,5

## ANEXO B

### Resultados ajuste de curvas con la relación de humedad en base seca (adimensional)

#### Secador de Bandejas - Resultados estadísticos obtenidos para 4 modelos

Modelos	Muestra	Temperatura	R <sup>2</sup>	x <sup>2</sup>	SSE	RMSE
Newton	1	30 °C	0,962726	0,001192	0,00110694	0,03327
		40 °C	0,999200	0,000653	0,00059361	0,02436
		60 °C	0,993833	0,003987	0,00354431	0,05953
	2	30 °C	0,955598	0,000796	0,00073919	0,02719
		40 °C	0,999499	0,000992	0,00088215	0,02970
		60 °C	0,998467	0,001873	0,00160537	0,04007
	3	30 °C	0,955598	0,000796	0,00073919	0,02719
		40 °C	0,998367	0,001644	0,00146133	0,03823
		60 °C	0,997888	0,002911	0,00249522	0,04995
Page	1	30 °C	0,968278	0,000494	0,00042329	0,02057
		40 °C	0,998790	0,000794	0,00064997	0,02549
		60 °C	0,998558	0,000977	0,00076007	0,02757
	2	30 °C	0,957986	0,000428	0,00036660	0,01915
		40 °C	0,999704	0,000462	0,00035904	0,01895
		60 °C	0,999521	0,000441	0,00031494	0,01775
	3	30 °C	0,956087	0,000372	0,00031844	0,01784
		40 °C	0,999694	0,000273	0,00021243	0,01457
		60 °C	0,999372	0,000504	0,00035971	0,01897
Henderson y Pabis	1	30 °C	0,968396	0,000416	0,00035622	0,01887
		40 °C	0,999396	0,000466	0,00038096	0,01952
		60 °C	0,997677	0,004319	0,00335961	0,05796
	2	30 °C	0,958102	0,000368	0,00031518	0,01775
		40 °C	0,999245	0,001094	0,00085075	0,02917
		60 °C	0,999656	0,000382	0,00027282	0,01652
	3	30 °C	0,946659	0,009869	0,00845951	0,09198
		40 °C	0,998443	0,001486	0,00115547	0,03399
		60 °C	0,999229	0,000463	0,00033099	0,01819
Thompson	1	30 °C	0,947374	0,016759	0,01436505	0,11985
		40 °C	0,993139	0,00519	0,00424625	0,06516
		60 °C	0,981446	0,015608	0,01213935	0,11018
	2	30 °C	0,946659	0,009869	0,00845951	0,09198
		40 °C	0,985924	0,010970	0,00853230	0,09237
		60 °C	0,950933	0,046717	0,03336946	0,18267
	3	30 °C	0,944808	0,010573	0,00906269	0,09520
		40 °C	0,996126	0,003226	0,00250904	0,05009
		60 °C	0,952908	0,042885	0,03063231	0,17502

Fuente: Datos experimentales

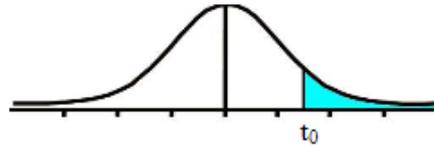
**Secador solar – Resultados estadísticos obtenidos para 4 modelos**

Modelos	Muestra	Temperatura	R <sup>2</sup>	x <sup>2</sup>	SSE	RMSE
Newton	1	V. día 1	0,956588	0,003010	0,0027952	0,05287
		V. día 2	0,997736	0,001886	0,0017148	0,04141
		V. día 3	0,996924	0,002783	0,0024735	0,04973
	2	V. día 1	0,967977	0,004662	0,0043294	0,06580
		V. día 2	0,999417	0,000643	0,0005717	0,02391
		V. día 3	0,999880	0,000283	0,0002429	0,01559
	3	V. día 1	0,963555	0,005358	0,0049752	0,07054
		V. día 2	0,999230	0,000746	0,0006634	0,02576
		V. día 3	0,999980	5,15E-05	4,4167E-5	0,00665
Page	1	V. día 1	0,954836	0,000204	0,0001750	0,01323
		V. día 2	0,999017	0,001036	0,0008473	0,02911
		V. día 3	0,999813	0,000219	0,0001704	0,01305
	2	V. día 1	0,970546	0,000800	0,0006861	0,02619
		V. día 2	0,999988	1,32E-05	1,029E-05	0,00321
		V. día 3	0,999882	0,000120	8,6063E-5	0,00928
	3	V. día 1	0,965975	0,001544	0,0013238	0,03638
		V. día 2	0,999882	0,000131	0,0001022	0,01011
		V. día 3	0,999981	3,19E-05	2,2752E-5	0,00477
Henderson y Pabis	1	V. día 1	0,955144	0,001972	0,0016906	0,04112
		V. día 2	0,999700	0,000274	0,0002245	0,01498
		V. día 3	0,998974	0,001138	0,0008854	0,02976
	2	V. día 1	0,969169	0,001627	0,0013947	0,03735
		V. día 2	0,999370	0,000604	0,0004701	0,02168
		V. día 3	0,999672	0,000333	0,0002381	0,01543
	3	V. día 1	0,964267	0,002624	0,0022493	0,04743
		V. día 2	0,999738	0,000302	0,0002345	0,01531
		V. día 3	0,999963	8,68E-05	6,197E-05	0,00787
Thompson	1	V. día 1	0,950827	0,004054	0,0034753	0,05895
		V. día 2	0,998801	0,001307	0,0010690	0,03270
		V. día 3	0,999694	0,000299	0,0002326	0,01525
	2	V. día 1	0,958591	0,011525	0,0098788	0,09939
		V. día 2	0,999459	0,000537	0,0004175	0,02043
		V. día 3	0,998696	0,001453	0,0010377	0,03221
	3	V. día 1	0,957904	0,009686	0,0083023	0,09112
		V. día 2	0,999680	0,000386	0,0003002	0,01733
		V. día 3	0,997483	0,002729	0,0019494	0,04415

Fuente: Datos experimentales

## ANEXO C

Tabla t-Student



Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1315	2.6025	2.9467
16	0.6901	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.6892	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.6884	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.6876	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.6870	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.6864	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22	0.6858	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.6853	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	0.6848	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7970
25	0.6844	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874
26	0.6840	1.3150	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27	0.6837	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28	0.6834	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29	0.6830	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564
30	0.6828	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500
31	0.6825	1.3095	1.6955	2.0395	2.4528	2.7440
32	0.6822	1.3086	1.6939	2.0369	2.4487	2.7385
33	0.6820	1.3077	1.6924	2.0345	2.4448	2.7333
34	0.6818	1.3070	1.6909	2.0322	2.4411	2.7284
35	0.6816	1.3062	1.6896	2.0301	2.4377	2.7238
36	0.6814	1.3055	1.6883	2.0281	2.4345	2.7195
37	0.6812	1.3049	1.6871	2.0262	2.4314	2.7154
38	0.6810	1.3042	1.6860	2.0244	2.4286	2.7116
39	0.6808	1.3036	1.6849	2.0227	2.4258	2.7079
40	0.6807	1.3031	1.6839	2.0211	2.4233	2.7045
41	0.6805	1.3025	1.6829	2.0195	2.4208	2.7012
42	0.6804	1.3020	1.6820	2.0181	2.4185	2.6981
43	0.6802	1.3016	1.6811	2.0167	2.4163	2.6951
44	0.6801	1.3011	1.6802	2.0154	2.4141	2.6923
45	0.6800	1.3007	1.6794	2.0141	2.4121	2.6896
46	0.6799	1.3002	1.6787	2.0129	2.4102	2.6870
47	0.6797	1.2998	1.6779	2.0117	2.4083	2.6846
48	0.6796	1.2994	1.6772	2.0106	2.4066	2.6822
49	0.6795	1.2991	1.6766	2.0096	2.4049	2.6800

## ANEXO D

Estadística realizada con SPSS de los datos obtenidos en la experimentación, se trabaja con la pérdida de peso en un periodo de tiempo.

### MUESTRA 1

#### PRUEBA T

Quinoa: Tulundo-Guano                      Temperatura a 30°C (Bandejas) y Día 1 (Solar)

T-TEST GROUPS=Secador(1 2)  
 /MISSING=ANALYSIS  
 /VARIABLES=PESOS\_30  
 /CRITERIA=CI (.95).

#### Estadísticos de grupo

Secador	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
PESOS_30 Bandejas	98	17,4717	2,01139	,20318
Solar	98	17,2546	1,83585	,18545

#### Prueba de muestras independientes

	Prueba de Levene para la igualdad de varianzas	Prueba T para la igualdad de medias								
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
									Inferior	Superior
PESOS_30 Se han asumido varianzas iguales	1,145	,286	,789	194	,431	,21714	,27509	-,32541	,75969	
No se han asumido varianzas iguales			,789	192,404	,431	,21714	,27509	-,32543	,75972	

Quinoa: Tulundo-Guano                      Temperatura a 40°C (Bandejas) y Día 2 (Solar)

T-TEST GROUPS=Secador\_4('A' 'B')  
 /MISSING=ANALYSIS  
 /VARIABLES=PESOS\_40  
 /CRITERIA=CI (.95).

**Estadísticos de grupo**

	Secador	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
PESOS_40	Bandejas	11	16,3800	2,74110	,82647
	Solar	11	18,3051	1,28339	,38696

**Prueba de muestras independientes**

		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias							
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia		
										Inferior	Superior
PESOS_40	Se han asumido varianzas iguales	3,967	,060	-2,109	20	,048	-1,92507	,91258	-3,82867	-,02147	
	No se han asumido varianzas iguales			-2,109	14,183	,053	-1,92507	,91258	-3,87998	,02984	

Quinua: Tulundo-Guano Temperatura a 60°C (Bandejas) y Día 3 (Solar)

T-TEST GROUPS=Secador\_6('A' 'B')

/MISSING=ANALYSIS

/VARIABLES=PESOS\_60

/CRITERIA=CI(.95).

**Estadísticos de grupo**

	Secador_6	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
PESOS_60	Bandejas	9	15,7141	3,11823	1,03941
	Solar	9	18,3898	1,00180	,33393

**Prueba de muestras independientes**

		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias							
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia		
										Inferior	Superior
PESOS_60	Se han asumido varianzas iguales	5,526	,032	-2,451	16	,026	-2,67570	1,09174	-4,99008	-,36132	
	No se han asumido varianzas iguales			-2,451	9,634	,035	-2,67570	1,09174	-5,12082	-,23058	

## MUESTRA 2

### PRUEBA T

Quinoa: Sector Guamote-Colta-Guano      Temperatura a 30°C (Bandejas) y Día 1 (Solar)

T-TEST GROUPS=Secador\_3('A' 'B')

/MISSING=ANALYSIS

/VARIABLES=PESOS\_30

/CRITERIA=CI(.95).

#### Estadísticos de grupo

	Secador_3	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
PESOS_30	Bandejas	14	27,5341	1,88488	,50376
	Solar	14	26,6187	2,37703	,63529

#### Prueba de muestras independientes

		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
									Inferior	Superior
PESOS_30	Se han asumido varianzas iguales	1,158	,292	1,129	26	,269	,91540	,81078	-,75118	2,58198
	No se han asumido varianzas iguales			1,129	24,716	,270	,91540	,81078	-,75540	2,58620

Quinoa: Sector Guamote-Colta-Guano

Temperatura a 40°C (Bandejas) y Día 2 (Solar)

T-TEST GROUPS=Secador\_4('A' 'B')

/MISSING=ANALYSIS

/VARIABLES=PESOS\_40

/CRITERIA=CI(.95).

**Estadísticos de grupo**

	Secador_4	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
PESOS_40	Bandejas	9	27,0984	1,80084	,60028
	Solar	9	28,4167	,92430	,30810

**Prueba de muestras independientes**

		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias							
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia		
										Inferior	Superior
PESOS_40	Se han asumido varianzas iguales	3,562	,077	-1,954	16	,068	-1,31823	,67473	-2,74860	,11213	
	No se han asumido varianzas iguales			-1,954	11,941	,075	-1,31823	,67473	-2,78915	,15268	

Quinua: Sector Guamote-Colta-Guano      Temperatura a 60°C (Bandejas) y Día 3 (Solar)

T-TEST GROUPS=Secador\_6('A' 'B')  
 /MISSING=ANALYSIS  
 /VARIABLES=PESOS\_60  
 /CRITERIA=CI (.95).

**Estadísticos de grupo**

	Secador_6	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
PESOS_60	Bandejas	7	26,6267	2,17605	,82247
	Solar	7	28,5437	,94969	,35895

**Prueba de muestras independientes**

		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias							
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia		
										Inferior	Superior
PESOS_60	Se han asumido varianzas iguales	4,499	,055	-2,136	12	,054	-1,91694	,89739	-3,87218	,03829	
	No se han asumido varianzas iguales			-2,136	8,206	,064	-1,91694	,89739	-3,97733	,14344	

### MUESTRA 3

#### PRUEBA T

Quinoa: Sectores: Pichincha, Cotopaxi, Chimborazo

Temperatura a 30°C (Bandejas) y Día 1 (Solar)

T-TEST GROUPS=Secador\_3('A' 'B')

/MISSING=ANALYSIS

/VARIABLES=PESOS\_30

/CRITERIA=CI (.95).

#### Estadísticos de grupo

Secador_3	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
PESOS_30 Bandejas	14	27,5341	1,88488	,50376
Solar	14	26,6611	2,37702	,63529

#### Prueba de muestras independientes

	Prueba de Levene para la igualdad de varianzas	Prueba T para la igualdad de medias								
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
									Inferior	Superior
PESOS_30 Se han asumido varianzas iguales	1,525	,228	1,077	26	,292	,87294	,81078	-,79364	2,53951	
No se han asumido varianzas iguales			1,077	24,716	,292	,87294	,81078	-,79786	2,54373	

Quinoa: Sectores: Pichincha, Cotopaxi, Chimborazo

Temperatura a 40°C (Bandejas) y Día 2 (Solar)

T-TEST GROUPS=Secador\_4('A' 'B')

/MISSING=ANALYSIS

/VARIABLES=PESOS\_40

/CRITERIA=CI (.95).

**Estadísticos de grupo**

Secador_4	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
PESOS_40 Bandejas	10	26,6646	2,08237	,65850
Solar	10	28,5816	,94730	,29956

**Prueba de muestras independientes**

		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias							
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia		
										Inferior	Superior
PESOS_40	Se han asumido varianzas iguales	3,997	,061	-2,650	18	,016	-1,91699	,72344	-3,43688	-3,9710	
	No se han asumido varianzas iguales			-2,650	12,572	,020	-1,91699	,72344	-3,48531	-,34867	

Quinua: Sectores: Pichincha, Cotopaxi, Chimborazo

Temperatura a 60°C (Bandejas) y Día 3 (Solar)

T-TEST GROUPS=Secador\_6('A' 'B')

/MISSING=ANALYSIS

/VARIABLES=PESOS\_60

/CRITERIA=CI (.95).

**Estadísticos de grupo**

Secador_6	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
PESOS_60 Bandejas	7	26,1431	2,34282	,88550
Solar	7	28,6312	,94468	,35705

**Prueba de muestras independientes**

		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias							
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia		
										Inferior	Superior
PESOS_60	Se han asumido varianzas iguales	4,708	,051	-2,606	12	,023	-2,48817	,95478	-4,56845	-,40789	
	No se han asumido varianzas iguales			-2,606	7,901	,032	-2,48817	,95478	-4,69471	-,28163	

## PRUEBA CON RENDIMIENTO DE LOS SECADORES EN SPSS

Rendimiento

Secador de bandejas	Secador solar
314,3227566	280,15064
428,5623568	206,669726
521,127688	160,636509
194,7251568	229,060985
185,3371003	96,0031241
207,202555	91,3378416
194,7254814	225,861094
237,399664	110,027117
223,9419801	88,320806

### Estadísticos de grupo

Secador_6	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
PESOS_60 Bandejas	9	278,5939	119,96612	39,98871
Solar	9	165,3409	72,37948	24,12649

### Prueba de muestras independientes

		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
									Inferior	Superior
PESOS_60	Se han asumido varianzas iguales	1,914	,185	2,425	16	,028	113,25299	46,70315	14,24673	212,25925
	No se han asumido varianzas iguales			2,425	13,143	,030	113,25299	46,70315	12,46824	214,03774