

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**“DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE SECADO DE LA QUINUA
(*Chenopodium quinoa*) USANDO UN SECADOR SOLAR MIXTO E
INDIRECTO EN AYACUCHO”**

**Tesis para optar Título de
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**Presentado por:
Omar, VITOR MORALES**

Ayacucho – Perú

2014

DEDICATORIA

A **Dios** por guiarme por este sendero, y ver uno de mis mayores anhelos haber culminado, gracias a su amor divino.

Con todo cariño y gratitud a mis padres **Priscila, Juan** y a mi hermana **Deisy** por su apoyo incondicional en el desarrollo de mi vida profesional.

... “No hay ventura ni desgracia en el mundo, sino la comparación de un estado con otro, he ahí todo.

Sólo el que ha experimentado el colmo del infortunio puede sentir la felicidad suprema. Es preciso haber querido morir, amigo mío, para saber cuán buena y hermosa es la vida. Vivid, pues, y sed dichosos, hijos queridos de mi corazón, y no olvidéis nunca que hasta el día en que Dios se digne descifrar el porvenir del hombre, toda la sabiduría humana estará resumida en dos palabras: ¡Confiar y esperar!”...

El Conde de Montecristo, 1844. Alejandro Dumas

AGRADECIMIENTO

En las siguientes líneas, doy las gracias a quienes han colaborado en la realización de este trabajo, tanto con sus aportes y sugerencias:

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por ser mi eterno guía.

A mis padres por el constante aliento a seguir adelante con mis propósitos, por la confianza y comprensión que me brindaron.

Mi eterno agradecimiento a la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga; a la escuela de formación profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias, alma máter de nuestra profesión por acogernos en sus aulas, formándonos y orientándonos en nuestra formación profesional.

Al Ing. Jesús Javier Paniagua Segovia, Asesor de la tesis, por su apoyo constante en el desarrollo y culminación del presente trabajo de investigación. Al Profesor Kléber JANAMPA QUISPE, coasesor de la tesis, por su apoyo en el desarrollo de la presente investigación.

A todos los profesores de la Facultad de Ingeniería Química y metalurgia, en particular de Ingeniería en Industrias Alimentarias; al personal administrativo y técnico por haberme ayudado siempre que lo he necesitado.

A mis amigos y compañeros de estudio, que de algún modo me brindaron su apoyo en la realización de este trabajo, por su constancia y amistad.

RESUMEN

Las empresas dedicadas al procesamiento primario de la quinua, secan la quinua de modo no tecnificado. El tiempo de secado de la quinua lavada es prolongado y el método utilizado no permite una buena operatividad y no existe un control de este proceso.

El secado solar es una de las aplicaciones más importantes de la energía solar. Existen diseños de secadores solares directos, indirectos y mixtos, que permiten obtener un secado en menor tiempo y protegen al grano de toda contaminación. Se presenta un prototipo de secador solar cuya característica es su adaptabilidad de secador solar mixto a secador indirecto, el diseño del prototipo de secador solar se determina teniendo en cuenta las características geográficas y del clima de la ciudad de Ayacucho.

Para la determinación de los tiempos de secado de los granos de quinua, se realizó ensayos preliminares para determinar el tipo de secador a usar, espesor de lecho a usar, tiempo de duración del secado y la evaluación de los factores que influyen en el secado solar. Los secadores solares a usar fueron el secador solar mixto e indirecto, los espesores de lecho a utilizar fueron el de 2, 4, 6 y 8 milímetros, el tiempo de duración del secado solar para la presente investigación fue de 4 horas y los factores que influyen en el secado solar a evaluar fueron la radiación solar, velocidad de viento y temperaturas alcanzadas.

El diseño experimental usado en la investigación es el diseño factorial $2 \times 2 \times 3$ con 7 repeticiones, bajo el Diseño Completo al Azar para evaluar los atributos de tiempo de secado. Sus variables independientes son la variedad de quinua (blanca de Junín y pasankalla-roja), tipo de secador solar (mixto e indirecto) y espesor de lecho (2, 4, 6 y 8 milímetros). Se registró los tiempos de secado alcanzados a humedades entre 11% y 12%. El análisis de varianza a través del ANVA, indica que hay diferencia entre los tratamientos a un nivel de significancia del 0,05 para establecer diferencias y semejanzas se realizó la prueba de Tukey, cuyos resultados se expresaron en tiempos de secado de la quinua, efecto de interacción del **tipo de secador x espesor de lecho**. El mejor tiempo de secado

obtenido es de 165 minutos, a un espesor de lecho de 8 milímetros, secador mixto y ambas variedades de quinua, debido a que es significativamente superior al resto de tiempos obtenidos de secado (superior en cantidad de quinua secada y tiempo de secado aceptable).

La valoración sensorial de la investigación se realizó haciendo uso de pruebas descriptivas a través de la metodología de la escala hedónica, para evaluar la aceptabilidad y/o preferencia del producto, el panel estuvo conformado por un grupo de 15 jueces entrenados, a quienes se pidió evaluar el atributo de color. Los resultados obtenidos en la quinua de variedad blanca de Junín, muestran que hubo diferencia significativa entre los tratamientos a un nivel de significancia del 0,05 por lo que se procedió a realizar la prueba de Duncan, resultando que la quinua secada difiere del patrón. El mejor tratamiento fue el espesor de lecho 8 milímetros (secador mixto), debido a que seca mayor cantidad de quinua, en un tiempo aceptable y mantiene un color significativamente aceptable. Los granos de quinua de variedad pasankalla no sufrirán diferencias significativas en la aceptabilidad de su color.

En la determinación de los tiempos de secado solar se evaluó el comportamiento de la radiación solar, velocidad de viento y temperaturas alcanzadas. De las evaluaciones realizadas la temperatura media alcanzada en el secador mixto fue 62°C, el secador indirecto la temperatura media fue de 45 °C, con una temperatura media al ambiente de 25°C, intensidad de radiación media de 750 w/m² y una velocidad de viento media de 0,4 m/s².

Asimismo se calculó la pérdida de masa, contenido de humedad y velocidad de secado de los granos de quinua, para observar su comportamiento del secado en el tiempo. La pérdida de masa y contenido de humedad es mayor en el secador solar mixto a diferencia del secador indirecto, la velocidad de secado en el secador solar mixto es muy superior, en el tiempo, a las velocidades de secado alcanzadas en el secador solar indirecto.

ÍNDICE

	Pag.
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVOS	2
1.1.1. Objetivo general.	2
1.1.2. Objetivos específicos	2
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 La quinua (<i>Chenopodium quinoa W.</i>)	3
2.1.1 Quinuas de valles	5
2.1.2 Quinuas altiplánicas	5
2.1.3. Clasificación taxonómica	6
2.1.4. Composición nutricional	6
2.1.5. Beneficios de la quinua en la salud	8
2.1.6 Factores antinutricionales de la quinua	9
2.2. Teoría de secado	10
2.2.1. Contenido de humedad	11
2.2.2. Actividad de agua	13
2.2.3. Curvas de secado y tiempo de secado	13
2.3. Secadoras solares	15
2.3.1. Radiación solar	16
2.3.2. Circulación de aire	18
2.3.2.1. Circulación forzada	19
2.3.2.2. Circulación por convección natural	19
2.3.3. Tipos de secado solar	20
2.3.3.1. Tipo indirecto	20
2.3.3.2 Tipo directo	22
2.3.3.3. Tipo mixto	25
2.3.4. Tiempo, temperatura y humedad de secado	26

2.3.5.	Secado de granos de quinua	27
2.4	Determinación de un prototipo de secador solar en Ayacucho	27
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.1.	Lugar de ejecución	30
3.2.	Materiales y equipos	30
3.2.1.	Materia prima	30
3.2.2.	Materiales	31
3.2.3.	Equipos	31
3.3.	Ensayos preliminares	31
3.3.1.	Selección del tipo de secador	31
3.3.2.	Determinación de los espesores de lecho y tiempo de secado	32
3.3.3.	Evaluación de los factores que influyen en el secado solar	33
3.4.	Metodología experimental	34
3.4.1.	Recepción de materia prima	35
3.4.2.	Clasificación y venteado	35
3.4.3.	Escarificado	35
3.4.4.	Lavado	37
3.4.5.	Centrifugado	37
3.4.6.	Secado	37
3.4.6.1	Diseño experimental para la determinación del tiempo de secado de la quinua (<i>Chenopodium quinoa W.</i>).	38
3.4.6.1.1.	Determinación de los tiempos de secado de la quinua	38
3.4.6.1.2.	Evaluación estadística	42
3.4.6.1.3.	Evaluación sensorial	43
3.4.6.1.4.	Controles en la determinación del tiempo de secado solar	44
3.4.6.1.5.	Cálculos de la pérdida de masa, contenido de humedad y velocidad de secado solar de la quinua.	47
3.4.7.	Empacado-pesado	47

3.4.8.	Almacenado	48
4.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	49
4.1	Resultados de los ensayos preliminares	49
4.1.1.	Resultados de la determinación del tipo de secador a usar	49
4.1.1.1.	Secador solar directo	51
4.1.1.2.	Secador solar indirecto	51
4.1.1.3.	Secador solar mixto	52
4.1.2.	Resultados de la determinación de los espesores de lecho y tiempo de secado.	53
4.1.3.	Resultados de la evaluación de los factores que influyen en el secado solar de los granos de quinua.	55
4.1.3.1.	Radiación solar	55
4.1.3.2.	Velocidad de viento	58
4.1.3.3.	Temperatura alcanzada	60
4.2.	Resultados del diseño experimental para la determinación del tiempo de secado de la quinua.	63
4.2.1.	Resultados de la determinación del tiempo de secado de la quinua	63
4.2.2.	Análisis estadístico de varianza para el tiempo de secado de los granos de quinua.	66
4.2.2.1.	Variedad de quinua	68
4.2.2.2.	Tipo de secador	68
4.2.2.3.	Espesor de lecho	69
4.2.2.4.	Interacción tipo de secador y espesor de lecho	70
4.2.3.	Análisis sensorial de varianza para el color de los granos de quinua	72
4.2.3.1.	Análisis sensorial de varianza para el color- quinua blanca	72
4.2.3.2.	Análisis sensorial de varianza para el color - quinua roja	74
4.2.4.	Resultados de los controles en la determinación del tiempo de secado solar de la quinua.	75

4.2.4.1.	Radiación solar	76
4.2.4.2.	Velocidad de viento	79
4.2.4.3.	Temperaturas alcanzadas	81
4.2.5.	Resultados del cálculo de la pérdida de masa, contenido de humedad y velocidad de secado en el secado solar de la quinua.	85
4.2.5.1.	Pérdida de masa	87
4.2.5.2.	Contenido de humedad	89
4.2.5.3.	Velocidad de secado	91
CONCLUSIONES		94
RECOMENDACIONES		97
BIBLIOGRAFÍA		98
ANEXOS		101

LISTA DE TABLAS

CAPÍTULO II

	Pag.
Tabla 2.1 : Principales variedades de quinua.	05
Tabla 2.2 : Requisitos bromatológicos de los granos de quinua.	06
Tabla 2.3 : Tabla comparativa de los componentes de quinua con otros Cereales.	07
Tabla 2.4 : Aminoácidos de las proteínas de la quinua, en comparación con otros alimentos.	08
Tabla 2.5 : Capacidades de producción.	26

CAPÍTULO III

Tabla 3.1 : Tiempo de secado a diferentes espesores de lecho	33
Tabla 3.2 : Tiempo de secado en diferentes secadores solares	34
Tabla 3.3 : Variables, indicadores e índices	38
Tabla 3.4 : Control de la humedad en el secado de la quinua	39
Tabla 3.5 : Resultados de las pruebas en la determinación del tiempo de secado de la quinua.	40
Tabla 3.6 : Ponderaciones asignadas para la evaluación sensorial.	43
Tabla 3.7 : Controles en el tiempo de secado de la quinua.	46

CAPÍTULO IV

Tabla 4.1 : Resultados de la evaluación de los espesores de lecho a utilizar.	53
Tabla 4.2 : Humedades alcanzadas en el secado de la quinua blanca	64
Tabla 4.3 : Humedades alcanzadas en el secado de la quinua roja	65
Tabla 4.4 : Resultados del diseño experimental en la determinación del tiempo de secado de la quinua.	66
Tabla 4.5 : Análisis de varianza (ANVA) tiempo de secado de la quinua mediante	

	experimento factorial en diseño completo al azar.	67
Tabla 4.6	: Tiempos de secado.	68
Tabla 4.7	: Tiempos de secado (comparación de las variedades de quinua).	68
Tabla 4.8	: Tiempos de secado (comparación de los tipos de secador)	69
Tabla 4.9	: Tiempos de secado (comparación de los espesores de lecho).	70
Tabla 4.10	: Comparación tipo de secado / espesor	71
Tabla 4.11	: Análisis de varianza (ANVA) tiempo de secado de la quinua blanca (blanca de Junín) mediante experimento factorial en diseño completo al azar.	72
Tabla 4.12	: Prueba duncan para el atributo de color, quinua blanca (blanca de Junín)	73
Tabla 4.13	: Análisis de varianza (ANVA) tiempo de secado de la quinua roja (pasankalla) mediante experimento factorial en diseño completo al azar.	74
Tabla 4.14	: Resultados de los controles en la determinación del tiempo de secado solar de la quinua.	75
Tabla 4.15	: Resultados comparativos del secador mixto, indirecto y directo de la quinua blanca (blanca de Junín) y roja (pasankalla).	85
Tabla 4.16	: Resultados de los cálculos realizados en el secado de la quinua blanca (blanca de Junín) y roja (pasankalla).	86

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO II

	Pag.
Figura 2.1 : Estructura Anatómica del grano de Quinoa	04
Figura 2.2 : Transferencia de calor y masa en el secado	11
Figura 2.3 : Curva de velocidad de secado	15
Figura 2.4 : Energía solar incidente diaria del departamento de Ayacucho	17
Figura 2.5 : Diferencias entre secado indirecto y mixto	20
Figura 2.6 : Secados solar indirecto	22
Figura 2.7 : Secador solar directo	23
Figura 2.8 : Principio de trabajo de SDS	24
Figura 2.9 : Secado solar mixto	25
Figura 2.10 : Diagrama de secador solar mixto-indirecto	29

CAPITULO III

Figura 3.1 : Diagrama de proceso del procesamiento primario de quinua.	36
Figura 3.2 : Montaje final del secador mixto- indirecto	44
Figura 3.3 : Anemómetro de copas	44
Figura 3.4 : Multivoltímetro usado para la lectura del piranómetro	45
Figura 3.5 : Piranómetro usado para la determinación del índice de radiación	45
Figura 3.6 : Termómetros utilizados en la investigación	46

CAPITULO IV

Figura 4.1 : Temperaturas alcanzadas por los secadores (20/09/2013)	50
Figura 4.2 : Temperaturas alcanzadas por los secadores (21/09/2013)	50
Figura 4.3 : Variación de la radiación en el tiempo (03/10/2013)	55
Figura 4.4 : Variación de la radiación en el tiempo (07/10/2013)	56
Figura 4.5 : Variación de la radiación en el tiempo (09/10/2013)	57
Figura 4.6 : Variación de la radiación en el tiempo (11/10/2013)	57
Figura 4.7 : Variación de la velocidad del viento en el tiempo (03/10/2013)	58
Figura 4.8 : Variación de la velocidad del viento en el tiempo (07/10/2013)	58

Figura 4.9	: Variación de la velocidad del viento en el tiempo (09/10/2013)	59
Figura 4.10	: Variación de la velocidad del viento en el tiempo (11/10/2013)	59
Figura 4.11	: Variación de la temperatura en el tiempo (03/10/2013)	60
Figura 4.12	: Variación de la temperatura en el tiempo (07/10/2013)	61
Figura 4.13:	Variación de la temperatura en el tiempo (09/10/2013)	62
Figura 4.14	: Variación de la temperatura en el tiempo (11/10/2013)	62
Figura 4.15	: Curva de radiación (20/10/2013)	76
Figura 4.16:	Curva de radiación (21/10/2013)	76
Figura 4.17:	Curva de radiación (23/10/2013)	76
Figura 4.18	: Curva de radiación (12/11/2013)	76
Figura 4.19:	Curva de radiación (18/11/2013)	77
Figura 4.20	: Curva de radiación (19/11/2013)	77
Figura 4.21	: Curva de radiación (24/11/2013)	77
Figura 4.22	: Curva de radiación (05/11/2013)	77
Figura 4.23	: Curva de radiación (06/11/2013)	77
Figura 4.24	: Curva de radiación (08/11/2013)	77
Figura 4.25	: Curva de radiación (09/11/2013)	78
Figura 4.26	: Curva de radiación (10/11/2013)	78
Figura 4.27	: Curva de radiación (20/11/2013)	78
Figura 4.28	: Curva de radiación (23/11/2013)	78
Figura 4.29	: Velocidad de viento (20/10/2013)	79
Figura 4.30	: Velocidad de viento (21/10/2013)	79
Figura 4.31	: Velocidad de viento (23/10/2013)	79
Figura 4.32:	Velocidad de viento (12/11/2013)	79
Figura 4.33	: Velocidad de viento (18/11/2013)	79
Figura 4.34	: Velocidad de viento (19/11/2013)	79
Figura 4.35	: Velocidad de viento (24/11/2013)	80
Figura 4.36	: Velocidad de viento (05/11/2013)	80
Figura 4.37	: Velocidad de viento (06/11/2013)	80

Figura 4.38 : Velocidad de viento (08/11/2013)	80
Figura 4.39 : Velocidad de viento (09/11/2013)	80
Figura 4.40 : Velocidad de viento (10/11/2013)	80
Figura 4.41 : Velocidad de viento (20/11/2013)	81
Figura 4.42: Velocidad de viento (23/11/2013)	81
Figura 4.43 : Temperaturas (20/10/2013)	82
Figura 4.44 : Temperaturas (21/10/2013)	82
Figura 4.45 : Temperaturas (23/10/2013)	82
Figura 4.46: Temperaturas (12/11/2013)	82
Figura 4.47 : Temperaturas (18/11/2013)	83
Figura 4.48 : Temperaturas (19/11/2013)	83
Figura 4.49 : Temperaturas (24/11/2013)	83
Figura 4.50 : Temperaturas (05/11/2013)	83
Figura 4.51 : Temperaturas (06/11/2013)	84
Figura 4.52 : Temperaturas (08/11/2013)	84
Figura 4.53 : Temperaturas (09/11/2013)	84
Figura 4.54 : Temperaturas (10/11/2013)	84
Figura 4.55 : Temperaturas (20/11/2013)	84
Figura 4.56: Temperaturas (23/11/2013)	84
Figura 4.57 : Pérdida de masa en el secado de la quinua (blanca de Junín)	87
Figura 4.58 : Pérdida de masa en el secado de la quinua (pasankalla)	88
Figura 4.59 : Contenido de humedad libre en la quinua (blanca de Junín)	89
Figura 4.60 : Contenido de humedad libre en la quinua (pasankalla)	90
Figura 4.61 : Velocidad de secado de la quinua (blanca de Junín)	91
Figura 4.62 : Velocidad de secado de la quinua (pasankalla)	92

INTRODUCCION

El secado solar de granos es una de las aplicaciones más importantes de la energía solar, se requiere calor a bajos niveles de temperatura, donde la eficiencia de los colectores es mayor, y además, no es indispensable la acumulación de energía. Existen diseños directos, indirectos y mixtos, que permiten obtener un secado en un menor tiempo, comparado con el secado solar a ambiente, y protegen al grano de una contaminación por materiales extraños. La aplicación de un proceso secado tecnificado y el control de este proceso, permitirá determinar el tiempo de secado y la obtención de un producto de calidad.

La forma de secado tradicional, no tecnificado, en empresas dedicadas a la producción primaria de la quinua, en la ciudad de Ayacucho es al aire libre en mantadas de color negro donde se expone la quinua lavada directamente a los rayos del sol durante varios días, removiéndolo periódicamente hasta alcanzar la reducción de su humedad. Estas actividades contribuyen a obtener un producto de características organolépticas muy variables, pero es importante mencionar que por efectos de lluvia y factores externos, la producción primaria de la quinua, no tendrá la humedad adecuada y estarán mezclados con materiales externos obtenidos por este sistema de secado.

El tiempo de secado de los granos de quinua dependerá de varios factores, como la variedad, tamaño, volumen, cantidad de quinua a secar, temperatura del aire, humedad relativa del aire, velocidad de aire, tipo de secador a utilizar, entre otros.

Ante este problema se realizó todo el esfuerzo encaminado para determinar el tiempo de secado de los granos de quinua a diferentes espesores de lecho, utilizando un prototipo de secador solar mixto e indirecto diseñado para ciudad de huamanga.

Los objetivos del trabajo fueron:

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar el tiempo de secado de la quinua lavada usando un secador solar mixto e indirecto.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Determinar el tiempo de secado de la quinua lavada usando un secador solar mixto e indirecto, evaluando los parámetros secado solar (velocidad de viento, radiación solar, temperatura y control de la humedad)
- ✓ De los ensayos preliminares, determinar el tipo de secador, espesores de lecho a usar, tiempo de secado y evaluar los factores que influyen en el secado solar.
- ✓ Determinar los tiempos de secado solar a diferentes espesores de lecho, tipos de secador (mixto e indirecto) y variedades de quinua (blanca de Junín y pasankalla).
- ✓ Determinar el mejor tiempo de secado, usando diferentes espesores de lecho, tipos de secador y variedades evaluadas.
- ✓ Evaluar las características sensoriales (color) de la quinua secada en un secador solar mixto e indirecto.
- ✓ Evaluar el secado solar mixto e indirecto de la quinua (pérdida de masa, contenido de humedad y velocidad de secado).

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. LA QUINUA

La quinua (*Chenopodium quinoa W.*) es una planta herbácea de ciclo anual y perteneciente a la familia de los Chenopodiaceas. Su tamaño varía desde 1 m a 3.5 m. según las diferentes variedades y ecotipos. (Rivera, 1995).

Crece en los andes de América, desde Colombia hasta Chile y Argentina, concentrándose en Bolivia y Perú e introducido a otros países del hemisferio norte. Hierba que alcanza 2 m. de alto; su tallo posee hojas de diversas formas y color verde, rojo o morado; su inflorescencia terminal es en punta, con gran variedad de tipos; las semillas miden hasta 2,5 mm. (Abdón, 2003)

La quinua se emplea desde tiempos muy remotos en el área andina; según M. Uhle (1919) esta planta se habría empezado a cultivar unos 5000 años A.C. Antes de la llegada de los españoles. La quinua se cultivaba ampliamente en todo el imperio, la planta recibe varios nombres según el color; la roja se llama Comi, la blanca Ppfique, la amarilla

Cchusllunca y la variedad silvestre se conoce como Isualla. La palabra quinua es de origen quechua. La quinua es originaria de los alrededores del Lago Titicaca (Carrasco, 1993); y recibe diferentes nombres en las distintas regiones y países en donde se cultiva este grano, se la conoce como “quinua” o “hupa” en Bolivia; como “quinua” en Ecuador y como “quinua” o “quinoa” en Perú; también es llamado “lupino” en otros países (FAO/RLAC, 1992).

Es un grano de alto valor nutritivo y de excelente rendimiento como producto agrícola; desde el punto de vista nutricional nos referimos a las proteínas y los aminoácidos, la quinua contiene una cantidad apreciable de algunos de estos aminoácidos limitantes (fenilalanina + tirosina), es decir, que la cantidad de proteínas de la quinua sobrepasa a la de cualquier otro cereal (FAO/RLAC, 1997).

El grano de quinua contiene en su cáscara (pericarpio) compuestos químicos, llamados saponinas que le dan sabor amargo, razón por la cual debe ser tratado después de la cosecha y antes del consumo, estas saponinas sirven como protección a la planta de insectos y pájaros. Se debe evitar el almacenamiento prolongado de la quinua porque además de la saponina contiene una cierta cantidad de grasa que fácilmente conduce al enranciamiento y olor desagradable (Meyhuay, 2004). El episperma está bajo el pericarpio, es una membrana que cubre al embrión (León, 2003)

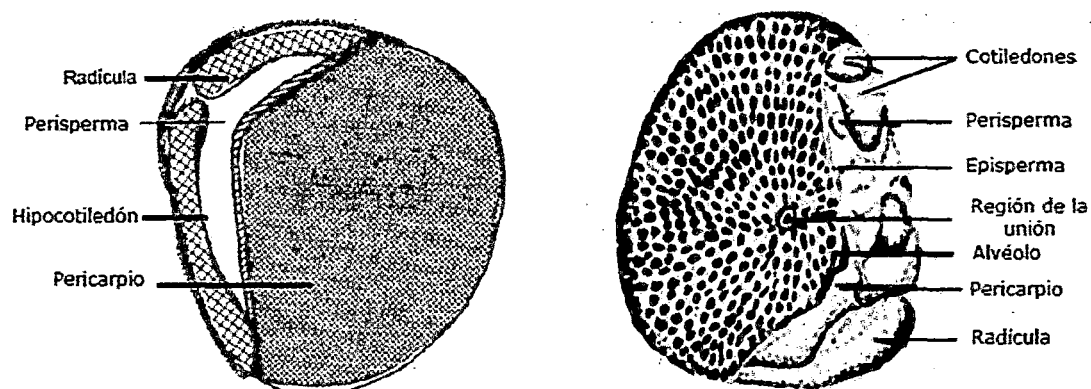


Figura 2.1: Estructura Anatómica del grano de Quinua

2.1.1. Quinuas de valles

Crecen en los valles interandinos de 2000 a 3600 m.s.n.m., se caracterizan porque tiene gran desarrollo, pueden llegar de 2 a 2.5 m de altura, son ramificados, su periodo vegetativo es largo, con panojas laxas, con inflorescencia amarantiforme, son tolerables al mildiu, en este grupo tenemos a la blanca de Junín, amarilla de marangani y rosada de Junín (León, 2003).

Tabla 2.1: Principales variedades de quinua

Tipo	Variedad	Zona de Producción
Blancas	Illpa inia	Altiplano peruano
	Collao	
	Salcedo inia	
	Rosada de taraco	
	Kancolla	
	I ahuaco	
	Blanca de juli	
Blancas de Valle	Blanca de Junín de Huancayo	Huancayo
	Huancayo	Huancayo
	Hualhuas	Huaraz
	Amarillo marangani	Cusco / Sicuani
	Amarillo sacaca	Cusco
	Blanca de Junín delCusco	Cusco / Huancayo
Color Altiplano	Pasankalla	Puno: circulacustre
	Negra	Altiplano peruano

FUENTE: NTP 205.062:2009

2.1.2. Quinuas altiplánicas

Crecen en lugares aledaños al lago Titicaca a una altura de 3800 m.sn.m, estos cultivos se caracterizan por tener buena resistencia a las heladas, son bajos en tamaño, no ramificados (tienen un solo tallo y panoja terminal que es glomerulada densa), llegan a tener una altura de 1.00 a 2.00 m., con periodo vegetativo corto, se tiene quinuas precoces, como la Pasankalla (León, 2003).

2.1.3. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Según Mujica (1993), la quinua está ubicada dentro de la sección Chenopodia y tiene la siguiente posición taxonómica:

Reino	: Vegetal
División	: Fanerógamas
Clase	: Dicotiledóneas
Orden	: Angiospermas
Familia	: Chenopodiáceas
Género	: Chenopodium
Sección	: Chenopodia
Subsección	: Cellulata
Especie	: <i>Chenopodium quinoa</i> , Will

2.1.4. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL

La quinua tiene un excepcional valor nutritivo, con grandes cantidades de carbohidratos, proteínas y excelente balance de aminoácidos esenciales, pero escasamente difundidos en la canasta y el consumo familiar.

Para la FAO, Organismo de las Naciones Unidas que maneja el tema de la alimentación, la quinua es uno de los alimentos con más futuro y una fuente de solución a los problemas de nutrición, como se puede observar en el siguiente Tabla el valor nutritivo de la quinua comparado con otros cereales de importancia.

Las saponinas son moléculas que están constituidas por un elemento soluble en lípidos y un elemento soluble en agua, y forman una espuma cuando son agitados en agua. Las saponinas son tóxicas, podrían interferir en la asimilación de esteroides por el sistema digestivo o romper membranas de las células luego de ser absorbidas (NTP 205.062:2009).

Tabla 2.2: Requisitos bromatológicos de los granos de quinua

Requisitos	Unidad	Valores		Método de ensayo
		Mínimo	Máximo	
Humedad	%		13,5	AOAC 945.15
Proteínas	%	10		AOAC 992.32
Cenizas	%		3,5	AOAC 945.38
Grasa	%	4,0		AOAC 945.38 - 920.39 C
Fibra cruda	%	3,0		AOAC 945.38 - 962.09 E
Carbohidratos	%	65		Determinación Indirecta por la diferencia de 100 en %
Saponinas	%	Ausencia		Método de la espuma

FUENTE: NTP 205.062:2009

El contenido proteico de la quinua es mayor en comparación con los otros cereales y además su contenido de grasa es de 6,70 por ciento aproximadamente, de los cuales la mitad contiene ácido linoleico, esencial para la dieta humana. También contiene un alto nivel de calcio y fosforo, que otros cereales no poseen, como se observa en el Tabla 2.3.

Tabla 2.3: Tabla comparativa de los componentes de quinua con otros cereales

Componentes %	Quinua	Trigo	Maíz	Arroz	Avena
Proteínas	13,00	11,43	12,28	10,25	12,30
Grasas	6,70	2,08	4,30	0,16	5,60
Fibras	3,45	3,65	1,68	vegetal	8,70
Cenizas	3,06	1,46	1,49	0,60	2,60
Calcio	0,12	0,05	0,01	-	-
Fósforo	0,36	0,42	0,30	0,10	-
Carbohidratos	71,00	71,00	70,00	78,00	60,00

Fuente: FAO, 1997

En el Tabla 2.4 se muestran los aminoácidos presentes en la proteína de la quinua en comparación con el contenido de los mismos para diferentes alimentos.

Tabla 2.4: Aminoácidos de las proteínas de la quinua, en comparación con otros alimentos (g/100g de proteína en base seca)

Aminoácidos	Kiwicha	Quinua	Arroz	Trigo	Maíz
Arginina	10.00	7.30	6.90	3.80	4.20
Fenilalanina	7.70	4.00	5.00	5.30	4.70
Histidina	2.50	3.20	2.10	2.20	2.60
Isoleucina	3.70	4.90	4.10	3.90	4.00
Leucina	5.70	6.60	8.20	7.70	12.50
Lisina	8.00	6.00	3.80	2.20	2.90
Metionina	4.20	2.30	2.20	1.60	1.40
Treonina	3.60	3.70	3.80	2.90	3.80
Triptofano	1.50	1.30	1.20	1.20	0.70
Valina	4.30	4.50	6.10	4.50	4.60

Fuente: Monteros et al. (1994)

2.1.5. BENEFICIOS DE LA QUINUA EN LA SALUD

La Organización Mundial de la Salud OMS considera la proteína de la quinua tan completa nutricionalmente como la de la leche. Esta riqueza proteica de la quinua se debe a su alto contenido en germen, un 30% del peso total del grano (en la mayoría de los cereales este germen no sobrepasa el 1% de su peso). Su alto y extraordinario contenido proteico la convierte en un excelente sustituto de la leche y al consumo de carnes rojas, pues proporciona todos los aminoácidos esenciales. Su consumo es sumamente recomendable ya que proporciona un alto contenido de aminoácidos esenciales y posee propiedades antiinflamatorias y cicatrizantes.

(<http://www.enhorabuenasmanos.com/articulos/muestra.asp?art=2598,2013>).

La quinua contiene también esteroides vegetales que ayudan a disminuir el nivel de colesterol en la sangre, triglicéridos altos, así como problemas cardiovasculares. La

cantidad y calidad de ácidos grasos que posee, la convierte en un alimento ideal para aumentar el colesterol bueno o HDL y reducir el colesterol malo o LDL.

Su contenido de grasa va de 4% al 9%, de los cuales la mitad es ácido linoleico, esencial para la salud. También contiene un alto nivel de calcio, fósforo, hierro y fibra. Esto hace que la quinua sea un alimento muy completo, esto unido a su fácil digestión los transforma en una excelente opción para incluir en nuestra dieta.

(<http://www.coacel.cl/documentos/recetas.pdf>, 2013)

La quinua contiene vitaminas del complejo B: Tiamina (B1), Riboflavina (B2), Niacina (B3) y ácido fólico (B9), del complejo A (carotenos) y del complejo C (Ácido ascórbico).

En cuanto al contenido de minerales la quinua es rica en potasio, calcio, fósforo, magnesio y hierro en comparación con otros cereales como el trigo y el arroz (Ahamed *et al.* 1998).

2.1.6. FACTORES ANTINUTRICIONALES DE LA QUINUA

La presencia de factores antinutricionales es de suma importancia en relación con el valor nutritivo de los alimentos. Rurales (1992), investigó la presencia de los siguientes compuestos antinutricionales: taninos, inhibidores de proteasa, ácido fítico y saponinas; de las cuales, solo se detectaron saponinas y ácido fítico. Las saponinas son glicoalcaloides que se encuentran en la cubierta del grano de quinua y que le dan un sabor amargo que impide su consumo directo.

Según Rurales y Nair (1992), las saponinas consisten de una a seis unidades de hexosas o pentosas, unidas a una sapogenina aglicona. Las saponinas pueden tener agliconas esteroidales o triterpenoidales. Estas son capaces de producir espuma estable en soluciones acuosas, bajar el nivel de plasma del colesterol y producir hemólisis en las células sanguíneas. Un gran número de saponinas presentan sabor amargo. Las saponinas de la quinua son glucósidos triterpenoidales, localizadas en el pericarpio de las semillas y

solubles en metanol y agua. Estas son tóxicas para especies acuáticas (de sangre fría), producen intoxicaciones a animales de sangre caliente, si se les administra intravenosamente, pero no son tóxicas si es administrado oralmente, ya que no son absorbidas por el intestino.

2.2 TEORÍA DE SECADO

El secado es una operación básica que consiste en reducir la humedad de un producto cualquiera, de forma que el producto final presenta unas características muy diferentes a las del inicial. La deshidratación es una de las técnicas más antiguas utilizadas para la conservación de alimentos y productos agrícolas.

El secado térmico, sistema más habitual y utilizado de secado de subproductos, es un proceso simultáneo de transferencia de masa y energía en el que se produce básicamente (figura 2):

- Transferencia de calor, desde el agente desecante al producto.
- Transferencia de masa, encargada de llevar la humedad del interior del producto hacia la superficie y de la superficie al aire de los alrededores.

Pero además de estos dos procesos simultáneos existe otra complicación: las condiciones físicas del producto se modifican en el transcurso de la extracción de humedad. Así, cuando la humedad se encuentra en la superficie solo se necesita para el secado la evaporación superficial. Sin embargo, cuando la humedad se halla en el interior, el secado está influido por el movimiento de la humedad en la materia, que es consecuencia de fenómenos como la capilaridad, la difusión del vapor y el flujo de moléculas. (R. Corvalan, 1995).



FIGURA 2.2: Transferencia de calor y masa en el secado

En general los principales objetivos que suelen perseguir en las operaciones de secado pueden agruparse en los siguientes:

- Facilitar un proceso industrial posterior.
- Conseguir la utilización, final o intermedia, de un determinado producto.
- Posibilitar la conservación, almacenamiento y transporte d un material.
- Mejorar el rendimiento de una instalación o equipo.
- Reducir costes (almacenamiento, transporte, conservación, disminución consumo, etc.).
- Permitir el posterior aprovechamiento de subproductos.
- Y obtener mejoras medioambientales directas e indirectas.

2.2.1 CONTENIDO DE HUMEDAD.

Es la cantidad de agua evaporable existente en un producto y se expresa con relación a su masa total o a su masa seca (esto sin contar la masa de agua evaporable que contiene).

El factor de mayor influencia en la cinética de secado, que afecta en general al secado, es el contenido de humedad del material.

Existen diferentes métodos para medir el contenido de humedad de un producto. Los métodos indirectos utilizan la dependencia de una propiedad del producto (p.ej. conductividad eléctrica) con el contenido de humedad, consiguiendo una medición rápida pero que requiere de un equipo muy especializado. La determinación directa del contenido de humedad implica medir la masa de producto y la masa seca correspondiente al eliminar el agua evaporable contenida en él, aplicando calor a una temperatura generalmente de 104°C hasta llegar a un peso constante de la muestra. Este método, aunque es el más utilizado, presenta como principal inconveniente el que al evaporar el agua se puede eliminar, al mismo tiempo, otras sustancias del producto (volátiles) lo cual puede suponer errores en la obtención de dicha variable.

El grano con niveles seguros de humedad experimentara problemas menores por el ataque de microorganismos e insectos durante su almacenamiento. En el secado existen algunos valores característicos que identifican estados en el contenido de humedad. (Siguencia, 2013).

Se denomina humedad de equilibrio del sólido, a la humedad alcanzada por el sólido en equilibrio con el aire en las condiciones dadas. La humedad de equilibrio es el límite al que puede llevarse el contenido de humedad de una sustancia por contacto con aire de humedad y temperatura determinadas (Ocon-Tojo, 1970).

Según Dávila (2004), el contenido crítico de humedad es una característica en la que ocurre un cambio en las condiciones de secado ya que pasa del secado a velocidad constante a la velocidad decreciente de secado.

2.2.2 ACTIVIDAD DE AGUA.

El agua que contiene los productos no se encuentra incorporada de la misma forma. En unos casos está relativamente libre, en otros está muy ligada a la estructura del producto, etc. Según la naturaleza de la unión entre el agua y la materia seca se distinguen (f.Kneule, 1982):

- Líquido adherente: forma una película sobre la superficie exterior de la materia seca.
- Líquido capilar: queda retenido por los intersticios de la materia porosa (superficie interna del producto).
- Líquido de hinchado: forma parte integral de la base del producto (unión coloidal).

El concepto de actividad de agua en un material permite expresar el grado de libertad que tiene el agua contenida en él. Así, un producto intercambia agua con el ambiente que lo rodea hasta que se establece una situación de equilibrio. En estas condiciones, el valor de la humedad relativa del aire (en tanto por uno) recibe el nombre de actividad de agua del producto, a_w . De esta forma, la humedad relativa de equilibrio del aire en contacto con el agua libre es del 100 % y, por tanto, su actividad es 1.

2.2.3 CURVAS DE SECADO Y TIEMPO DE SECADO

En general, el proceso de secado se caracteriza por tres fases:

- 1era Fase: Periodo de velocidad de secado creciente. Corto periodo transitorio (habitualmente despreciable) en el que se produce un calentamiento inicial del producto y la velocidad de secado aumenta.
- 2da Fase: Periodo de velocidad de secado constante. El secado tiene lugar sólo en la superficie, produciéndose exclusivamente la evaporación de la humedad superficial. La extracción de humedad en este periodo depende principalmente de las condiciones del aire circundante y prácticamente es independiente de la naturaleza del producto. El movimiento del agua en el material es lo suficientemente rápido como para mantener las condiciones de saturación en la

superficie, de manera que durante todo el intervalo el producto se encuentra saturado de humedad a una temperatura prácticamente constante y aproximadamente igual a la temperatura de bulbo húmedo. El proceso es similar a la evaporación de un líquido.

- **3era Fase:** Periodo de velocidad de secado decreciente. Comienza al finalizar el periodo constante (contenido de humedad crítico del producto). La resistencia interna del material se hace más importante, dificultando el paso de humedad; ya no existen condiciones de saturación en la superficie y se produce la eliminación de la humedad interna. Este periodo depende fundamentalmente de la difusión de humedad del interior del producto hacia la superficie, así como de la evaporación superficial. A su vez, está dividido en dos estados, un primer periodo decreciente, en el que tiene lugar el secado de la superficie no saturada, y un segundo periodo decreciente en el que la difusión de humedad a la superficie se hace más lenta y es el factor determinante. En general, la duración de estos regímenes depende del contenido de humedad inicial del material.

En materiales agrícolas (higroscópicos) la humedad contenida esta usualmente “atrapada” en pequeños capilares cerrados, siendo imposible llegar hasta valores de humedad iguales a cero y por tanto, siempre existe un contenido de humedad residual.

Las duraciones de los periodos de secado varían de un secador a otro y de un producto a otro, de tal forma que es en la práctica donde se fijan estos valores. Al disminuir la cantidad de humedad a evaporar también disminuye el tiempo de secado; otra opción de disminuir el tiempo de secado es la de aumentar la energía térmica, para que aumente la temperatura del aire y así aumente la tasa de transferencia del calor necesario para evaporar la humedad del producto. Si se quiere disminuir el tiempo de secado se debe tener cuidado de que la temperatura del aire no sea demasiado alta, ya que puede ocasionar daños al producto a secar. (Moreno, 2001)

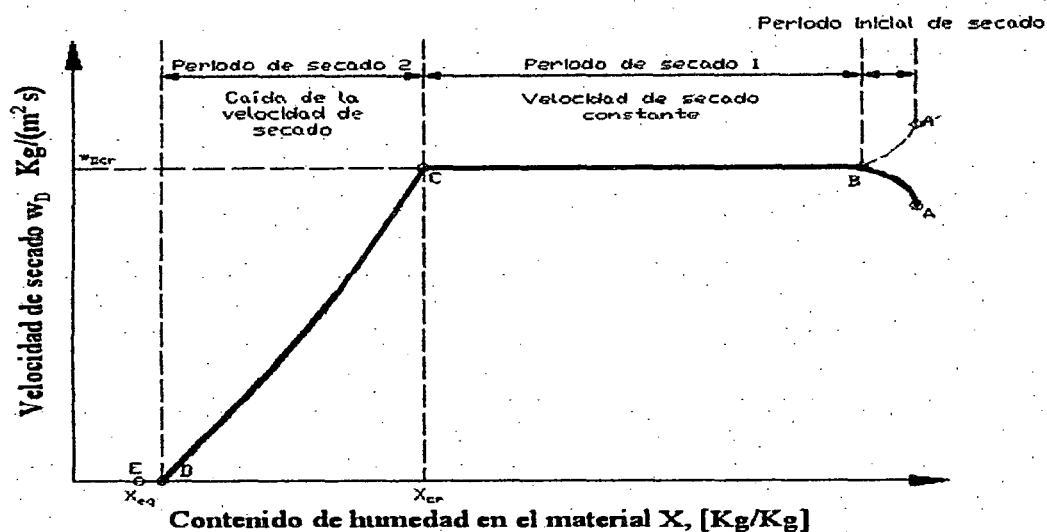


Figura 2.3: Curva de velocidad de secado.

Fuente: Dávila Nava, 2004.

En esta gráfica también pueden verse los periodos de velocidad constante y caída en la velocidad de secado. La explicación de la forma de la curva de secado está conectada con el fenómeno de transferencia de masa y calor. Antes del secado la superficie del material está cubierta con una capa delgada de líquido la cual puede ser tratada como humedad desatada, libre o capilar. La evaporación empieza con el contacto con el aire. Considerando la resistencia de la transferencia de masa, tenemos las condiciones externas y la capa circulante de gas; limitando la velocidad de secado. (Siguencia, 2013).

2.3 SECADORAS SOLARES

El secado natural ha sido utilizado desde tiempos inmemorables para secar una gran variedad de productos. Sin embargo, para la producción a escala industrial este sistema presenta ciertas limitaciones (necesidades de grandes superficies, elevado coste de mano de obra, dificultades en el control del proceso de secado, etc.). Con objeto de aprovechar los beneficios de la fuente solar se han realizado numerosos intentos en los últimos años para el desarrollo de secaderos solares en productos agrícolas y forestales (R. Corvalan, 1995).

Entre las ventajas que presenta el secado solar, la más destacada se basa en la energía que utiliza, es decir, una fuente no contaminante, renovable y que puede utilizarse a escala local.

La aplicación de un sistema de secado solar implica un proceso de estudio e investigación adecuado a las características del producto y a la zona geográfica en cuestión. Para mejorar el proceso, es habitual la utilización de colectores de aire, considerándose actualmente está una aplicación potencialmente interesante para reducir el consumo de combustibles fósiles en el secado de productos (J. Blanco, 2002).

Los dos elementos básicos de una secadora solar son: el colector, donde la radiación calienta el aire y la cámara de secado, donde el producto es deshidratado por el aire que pasa. (Almanza, 1994).

Los factores claves para un buen secado son entonces (Almada, 2005):

1. Aire caliente a una temperatura de 40 a 70°C.
2. Aire con un bajo contenido de humedad.
3. Movimiento constante del aire.

2.3.1 RADIACIÓN SOLAR:

El Perú por su ubicación geográfica, dentro de los trópicos, dispone de energía solar con poca variación anual debido a que en nuestras latitudes los rayos solares son casi perpendiculares a la superficie terrestre durante todo el año. Es un país dentro de la zona del trópico (latitudes de 0 – 18° sur), con niveles de radiación solar muy alta. Para captar más energía solar durante todo el año, la mejor orientación es una superficie inclinada 0 – 40° hacia el norte (SENAMHI, 2011).

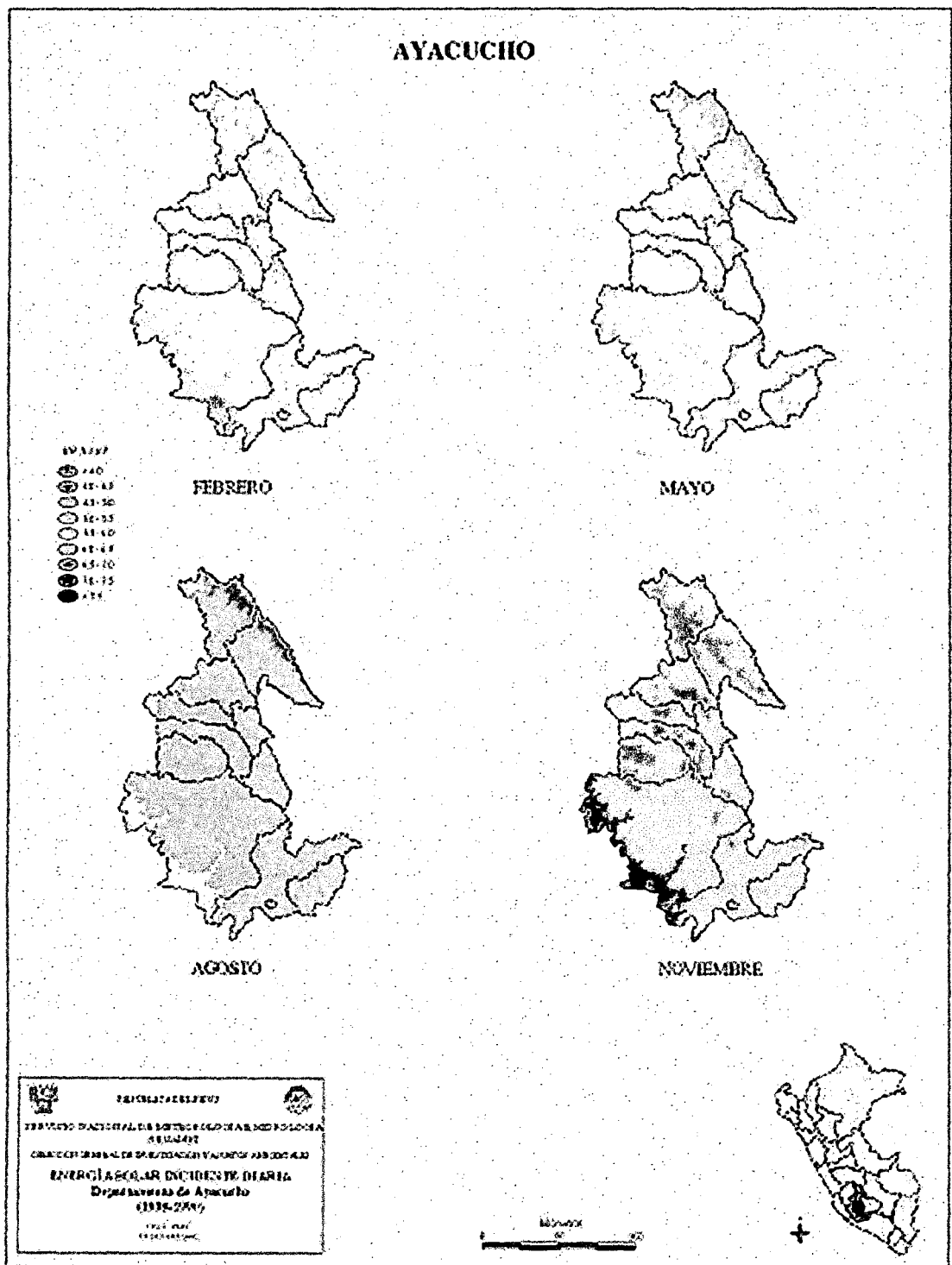


Figura N° 2.4: Energía solar incidente diaria del departamento de Ayacucho

(SENAMHI, 2011)

En casi todo el territorio, en particular en los andes, la radiación solar promedio mensual es durante todo el año alta. En la mayor parte del Perú, el promedio mensual de la energía solar incidente sobre la superficie horizontal es mayor de 500 w/m^2 por día (SENAMHI, 2011).

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), nos muestra la Energía Solar Incidente Diaria en el Departamento de Ayacucho en la figura N° 04 (SENAMHI, 2011).

La quinua soporta radiaciones extremas de las zonas altas de los andes, sin embargo estas altas radiaciones permiten compensar las horas calor necesarias para cumplir con su periodo vegetativo y productivo. Los sectores de más alta iluminación solar son los más favorables para el cultivo de la quinua, ya que ello contribuye a una mayor actividad fotosintética (León, 2003).

2.3.2 CIRCULACION DEL AIRE

El aire en contacto con el producto es encargado de extraer su humedad. La temperatura inicial de la corriente de aire desciende conforme avanza en el secador. A lo largo de su recorrido en el secador el aire aumenta su humedad relativa. Para un proceso de secado ideal, esta humedad relativa debe llegar a ser lo más próxima posible a la humedad de saturación. En un proceso eficiente y dado que la circulación de aire lleva un costo, es necesario determinar el flujo másico de aire óptimo para secar el producto en el menor tiempo posible, el cual va a depender de la naturaleza del producto, tipo de secador, etc. Si se conocen las temperaturas existentes en diversos puntos del secador, se puede determinar aproximadamente qué tan correctamente está trabajando la corriente de aire de entrada.

La corriente de aire óptima para el secado será alcanzada cuando, en el punto final del secador, la humedad del aire sea cercana a la humedad de saturación; esto sucederá cuando la temperatura en la salida del secador sea igual a la temperatura de bulbo húmedo correspondiente a las condiciones de la temperatura del flujo de aire y de humedad iniciales en la entrada del secador.

2.3.2.1. Circulación forzada:

El aire es movido por un ventilador que consume energía mecánica o eléctrica. Este tipo de circulación facilita el diseño en el caso de los equipos de tamaño grande, además de facilitar el control del proceso de secado. Usando este tipo de circulación se pueden obtener velocidades de circulación de aire entre 0.5 y 1 m/s. La principal desventaja de la circulación forzada es el hecho de que se debe disponer de una fuente de energía eléctrica (Almanza R. y Muñoz F. 1994).

2.3.2.2. Circulación por convección natural:

El aire es movido por las diferencias de temperatura entre las distintas partes del equipo, que promueven la convección térmica del aire. Este tipo de circulación se hace más difícil de incorporar con equipos grandes. Para equipos pequeños o medianos se pueden lograr velocidades de aire de 0.4 a 1 m/s al interior de la cámara, pero en equipos grandes esta velocidad no sobrepasa los 0.1 a 0.3 m/s (Almanza, 1994).

También debemos tener claro los mecanismos de aporte de energía durante el proceso de secado. Cuando se usa secado indirecto, la temperatura de la superficie del producto es menor a la temperatura del aire. En el caso de secado directo o secado mixto, un aporte importante de energía es la radiación solar que absorbe directamente el producto. En este caso la temperatura del producto normalmente es mayor que la temperatura del aire. (Román, 2008)

Los dos parámetros externos que más condicionan el secado solar son la temperatura y la velocidad del aire ambiente. Será necesario un compromiso entre la temperatura de secado y la velocidad de paso del fluido para obtener un secado óptimo en este último (Montero, 2005).

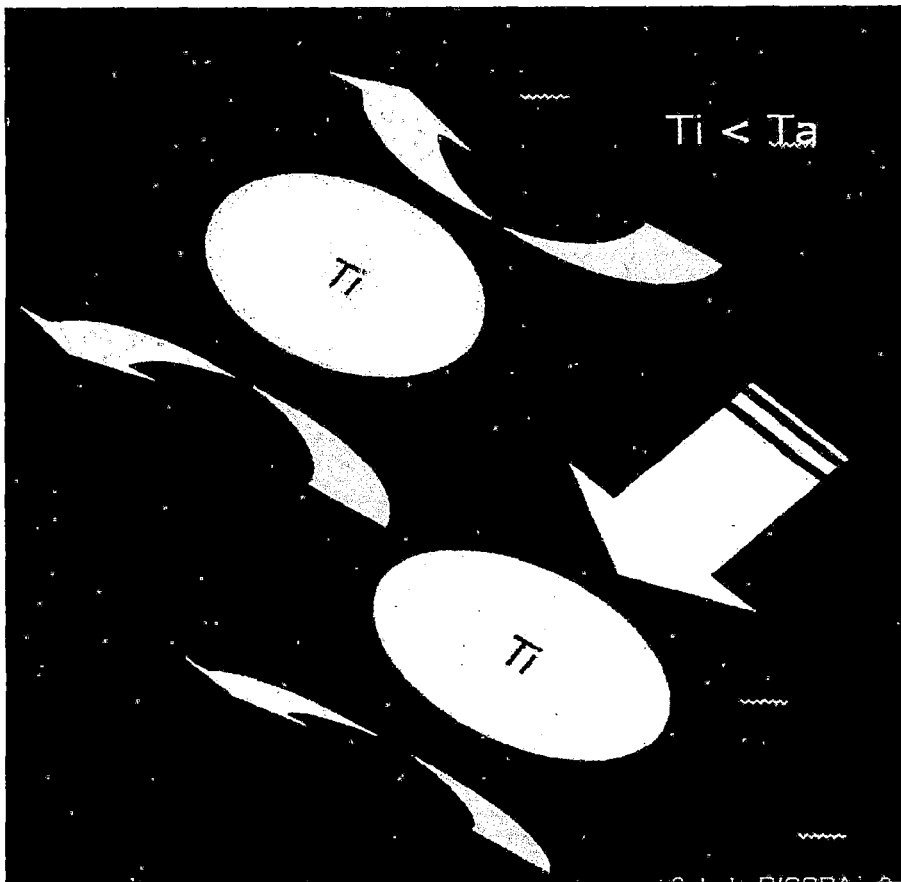


Figura 2.5: Diferencias entre secado indirecto y mixto (Román, 2008)

2.3.3. TIPOS DE SECADO SOLAR

Desde el punto de vista general podemos distinguir entre los secadores solares *directos*, *indirectos* y *mixtos*. Esta nomenclatura distingue la forma en que se transfiere la energía entre el producto y el entorno que lo rodea. Veamos esto en mayor detalle:

2.3.3.1 Indirecto:

El colector y la cámara de secado están separados. El aire es calentado en el colector y la radiación no incide sobre el producto colocado en la cámara de secado. La cámara de secado no permite la entrada de la radiación solar. Este secador es

esencialmente un secador convectivo convencional sobre el cual el sol actúa como fuente energética. Los secadores directos difieren de los indirectos en la transmisión de calor y la separación de vapor. A continuación se dan varias características de operación que definen a este tipo de secadores.

- Los secadores indirectos que utilizan fluidos de condensación como medio de calentamiento son, en general, económicos desde el punto de vista del consumo de calor, ya que suministran calor sólo de acuerdo con la demanda hecha por el material que se está secando.
- El calor se transfiere al material húmedo por conducción a través de una pared de retención de sólidos, casi siempre de naturaleza metálica.
- Las temperaturas de superficie pueden variar desde niveles inferiores al de congelación, hasta mayores de 550°C, en el caso de secadores indirectos calentados por medio de productos de combustión.
- Su funcionamiento se caracteriza por algún método de agitación para aumentar el contacto entre el material húmedo y la superficie metálica caliente, así como para efectuar un cambio continuo de material húmedo en la superficie caliente. La naturaleza de dicho contacto determina la velocidad de secado total de los secadores indirectos. Los materiales granulares pesados dan mayor coeficiente de transferencia de calor de contacto que los materiales sólidos voluminosos.

En este caso el producto está en una *cámara de secado* opaca. El aire de secado se *precalienta* con colectores solares y el aire caliente se inyecta a la cámara de secado. El aire le transfiere calor al producto y este pierde humedad. El proceso que sigue el aire es similar a un enfriamiento adiabático. Al pasar el aire por las bandejas va ganando humedad y enfriándose. Tienen la ventaja de que el producto está protegido de la radiación y si se cuidan las temperaturas la calidad es muy buena. (Román, 2008)

A continuación en la figura 2.6 se muestra un secador solar indirecto.

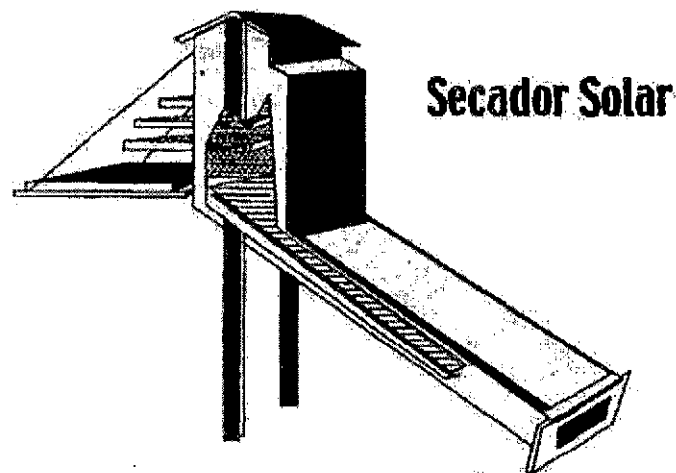


FIGURA 2.6: Secados solar indirecto

2.3.3.2 Directo:

En este tipo de secador, el colector y la cámara de secado, pueden juntarse, en cuyo caso la cámara que contiene el producto también cumple la función de colector recibiendo la radiación solar.

En los secadores solares directos la radiación solar es absorbida por el propio producto, resultando más efectivo el aprovechamiento de la energía para producir la evaporación del agua. Esto se debe a que la presión de vapor en la superficie del producto crece por la absorción de radiación solar. Por lo tanto el gradiente de presiones de vapor entre producto y aire se hace mayor y se acelera el secado. La combinación de colector y cámara en una sola unidad puede ser más económica en muchos casos, especialmente en los secadores de menor tamaño. Este tipo de secadores es casi siempre con circulación de aire por convección natural. Esto hace que a veces el control del proceso sea poco confiable. Para algunos productos la acción de la radiación solar puede destruir algún compuesto orgánico que lo compone y que tiene interés comercial. Las características generales de operación de los secadores directos son:

- El agente de secado puede ser aire calentado por vapor, gases de combustión, gas inerte calentado (nitrógeno por ejemplo), o vapor de agua sobrecalentado.

- El secado se efectúa por transferencia de calor por convección entre los gases calientes y el sólido mojado, en donde el flujo de gases extrae el líquido vaporizado y separa el vapor.
- Un secador directo consume más combustible por kilogramo de agua evaporada, mientras más bajo sea el contenido de humedad.
- La eficiencia mejora al aumentarse la temperatura del gas de entrada a una temperatura de salida constante.

El producto está en una cámara bastante hermética y recibe directamente la radiación solar. Al absorber la misma, su temperatura sube, aumentando la presión de vapor del agua del producto y el aire remueve la humedad. Al haber poca circulación de aire, las temperaturas tienden a subir mucho y es probable que se produzca deterioro del producto. (Román, 2008)

A continuación en la figura 2.7 se muestra un secador solar directo.

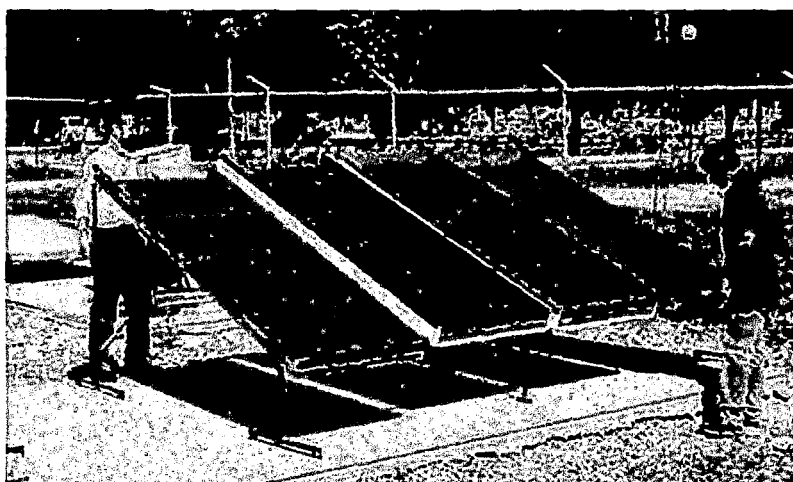


FIGURA 2.7: Secador solar directo

Secado solar directo

El objetivo del secado es la reducción del contenido de humedad de un material; bajo condiciones ambientales este proceso es muy lento. El propósito de un secador es, precisamente, acelerar el mismo mediante la aportación de una mayor cantidad de calor,

disminuyendo significativamente la humedad relativa del aire desecante e incrementando su capacidad de arrastre de humedad.

En el secado natural o secado directo al sol (SDS), como se ha indicado, el producto está expuesto a la radiación solar, al viento y a otras condiciones ambientales, siendo los requerimientos energéticos de la operación suministrados por la energía solar, como fuente única de energía. El principio del trabajo del SDS se muestra en la figura 08. Como se aprecia, parte de la radiación de onda corta incidente del sol es absorbida por el producto y parte es reflejada.

Una fracción de la radiación absorbida y el aire caliente que circula sobre el producto provoca el calentamiento superficial del mismo, dando lugar a la propagación de calor al interior (consiguiéndose la elevación en la temperatura del producto y producción de vapor de agua) y a la evaporación de la humedad superficial, lográndose de esta forma la desecación del producto.

Sin embargo, la otra fracción se pierde por la transmisión de la radiación de onda larga al ambiente y por la conducción a través de los elementos en contacto con el terreno.

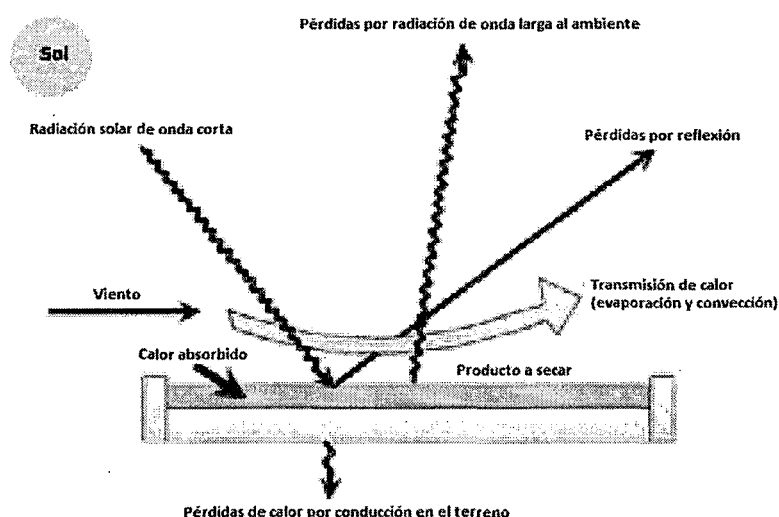


Figura 2.8: Principio de trabajo de SDS.

(Montero, 2005)

2.3.3.3 Mixto:

Son aquellos donde la colección de radiación se realiza tanto en el colector solar previo a la cámara de secado como en la misma cámara de secado. El Secador solar mixto presenta varias ventajas; en primer lugar el control del proceso es más simple (sobre todo en el caso de secadores con circulación forzada de aire). Es fácil de integrar una fuente auxiliar de energía para construir un sistema híbrido. El tener una cámara de secado separada de los colectores facilita la manipulación del producto, las labores de carga y descarga. Dado que la cámara no permite la entrada de la radiación solar, este sistema permite secar en forma conveniente productos que se puedan dañar o perder su calidad de aspecto por una exposición directa al sol. Una desventaja de este tipo de secadores es el hecho de que al añadir el colector previo a la cámara para recolectar energía solar, el tamaño del equipo y sus costos aumentan. Una segunda desventaja es que para evaporar la misma cantidad de agua se necesita mover más kilogramos de aire a mayor temperatura que en el caso de los secadores directos.

A continuación en la figura 2.9 se muestra un secador solar mixto.

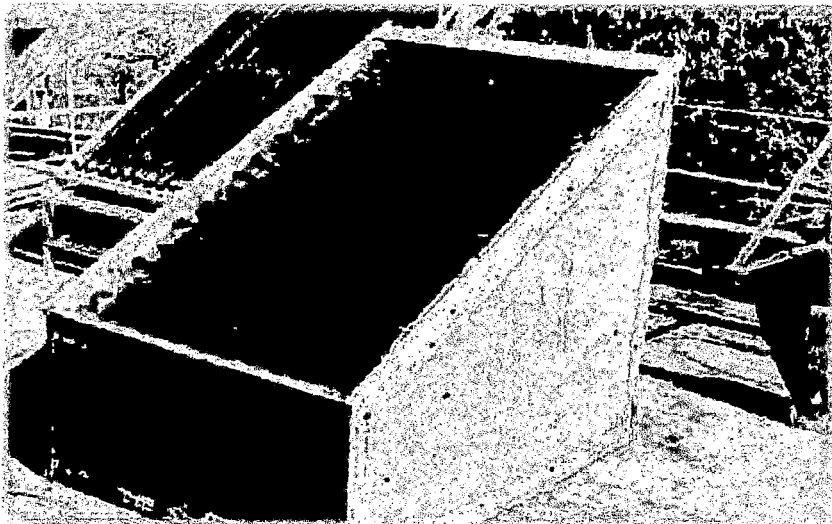


FIGURA 2.9: Secado solar mixto

La capacidad de producción de los tipos de secado se define con relación al peso del producto fresco total que se alimenta para ser secado. En general, cada tipo de secador solar tiene un funcionamiento más apropiado en cierto rango de capacidad de producción. Enseguida se describen las características de algunos tipos de secadores más comunes según la capacidad de su producción.

TABLA 2.5: Capacidades de producción.

Capacidad de producción	Modo de calentamiento	Circulación de aire	Forma de operación
Pequeña o baja	Directo	Convección natural	En tanda
		Acción del viento	En tanda
Baja o media	Directo	Convección natural	En tanda
	Indirecto	Convección natural	En tanda
Media a alta	Indirecto	Forzada	En tanda
	Mixto o indirecto	Convección	Continua

2.3.4 TIEMPO, TEMPERATURA Y HUMEDAD DE SECADO

El tiempo de secado depende del material a secar, esto definirá las características de la curva de secado correspondiente, el tiempo de secado se debe determinar indistintamente para cada uno de los periodos de secado. Para el secado de granos se consideran dos etapas durante el proceso, a velocidad constante y a velocidad decreciente. (Páez, 1990)

El tiempo de secado depende de varios factores. Los más importantes son:

- Tipo de producto (mayor contenido de agua, mayor tiempo)
- Tamaño, volumen, cantidad del producto (más grande, mayor tiempo)

- Temperatura del aire (más elevada, menor tiempo)
- Humedad relativa del aire (más elevada, mayor tiempo)
- Velocidad del aire (más elevada, menor tiempo)(Almada, 2005)

Las temperaturas bajas son las mejores para almacenar granos. El grano respira muy lentamente, se genera poco calor dentro del grano, y, se reduce la actividad y respiración de insectos y hongos.

Los microorganismos (hongos) que atacan el grano almacenado se desarrollan rápidamente a temperaturas mayores de 25° C, con un rango óptimo entre 28 y 32°C con humedad disponible.

La humedad máxima según la NTP 205.062:2009 es de 13,5% (Tabla N° 2.2), en las fichas técnicas para la exportación de quinua nos mencionan una máximo de 12%. Controlando estas humedades se evitará el ataque de microorganismos (hongos). Los factores físicos más importantes son la humedad y temperatura, disponible en las estructuras de almacenamiento. (Siguencia, 2013).

2.3.5 SECADO DE GRANOS DE QUINUA

El secado de granos tiene como objetivo fundamental lograr que, el grano conserve sus características el mayor tiempo posible. El proceso de secado de granos tiene cuatro retos:

- Disminuir el contenido de agua en los granos.
- Evitar la germinación de las semillas.
- Conservar la máxima calidad del grano y alcanzar un grado de humedad que no permita el crecimiento de bacterias y hongos.

2.4 OPTIMIZACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SECADOR SOLAR EN AYACUCHO

Se presenta el diseño, construcción y evaluación de un secador solar cuya característica es su adaptabilidad de secador solar mixto a secador indirecto, dimensionado bajo los modelos matemáticos de colectores planos de aire. El secador

consta de una placa colectora de 0.56 m^2 , con doble cubierta de vidrio. La evaluación del secado se realizó de acuerdo al método gravimétrico, lográndose un producto con un 66% de pérdida de su masa inicial. En el caso de secado mixto, la eficiencia del secador alcanzó el valor de 45% a la temperatura de 60°C del aire a la salida del colector. En el secado indirecto se encontró una eficiencia del secador de 24% a la temperatura de salida del aire a 40°C . Las características organolépticas no presentan una alteración significativa en su olor y color característico.

2.4.1 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE SECADOR SOLAR

El diseño del prototipo de secador solar se determina teniendo en cuenta:

- Las características geográficas y del clima de la ciudad de Ayacucho.
- Se elige el tipo de secador en base a las propiedades del producto.
- A través de un balance energético y de masa se dimensiona sus parámetros geométricos y térmicos: teniendo en cuenta la cantidad de producto a secar.

(Delgado, 2005)

Se diseña un secador con colector plano de aire que pueda adaptarse a funcionar como secador mixto y secador indirecto. Se utiliza el Software GRAPSI-DRAW para la elaboración de la carta Psicrométrica para Ayacucho a 2761msnm. Para dimensionar las características térmicas y geométricas del colector, tanto para el caso de secador indirecto como mixto, asumimos la temperatura ambiente de 16.1°C , humedad relativa de 65.5% e intensidad de radiación solar media 700 w/m^2 .

En base al análisis anterior, dimensionamos un colector plano con una base metálica pintada de negro mate y una cubierta de dos vidrios para aumentar la temperatura interior.

Para caracterizar el coeficiente global de pérdidas del colector, que nos indica la cantidad de energía que pierde al medio ambiente, nos basamos en el modelo planteado por J.M Chassériaux (Montero, 2005).

El coeficiente global de pérdidas del colector plano corresponde a $8.1\text{W/m}^2\text{C}$, determinado cuando este funciona sin carga, alcanzando una temperatura del aire de salida de 51.2°C con un factor de remoción de aire de 0.4. Lo que nos indica que hay un 40% de eficiencia en la transmisión de calor del colector al aire.

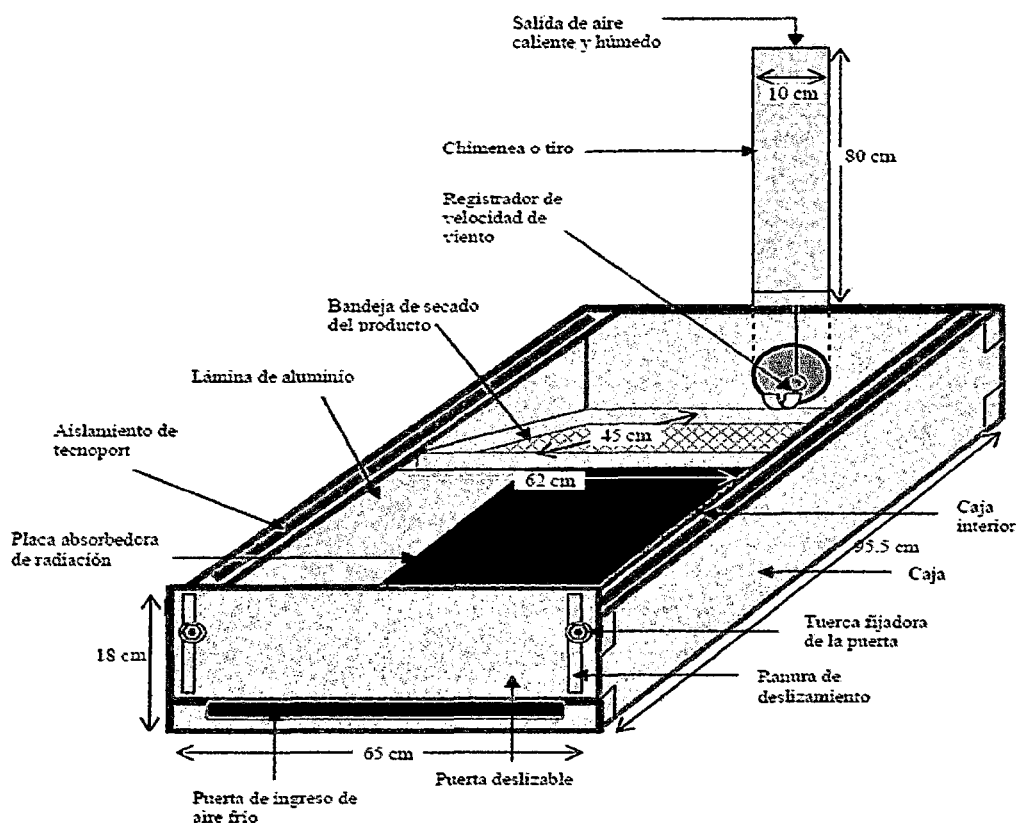


FIGURA 2.10: Diagrama de secador solar mixto-indirecto

En base a los protocolos de evaluación de colectores solares, se orienta el colector al norte con un ángulo de inclinación de 13° correspondiente a la latitud local.

El diseño del prototipo de secador solar propuesto, tiene la posibilidad de ser utilizado tanto como secador solar mixto e indirecto. Lo que se logra cubriendo con un material opaco parte del vidrio del colector de manera que no incidan directamente los rayos del sol sobre el producto. El control de flujo de aire, con la que se controla la temperatura de calentamiento del aire, lo hacemos mediante la variación del área de entrada del aire.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó en los laboratorios de Tecnología de Alimentos, Investigación y Análisis de Alimentos de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, durante el periodo de Octubre del 2013 a Diciembre de 2013.

3.2 MATERIALES Y EQUIPOS

3.2.1 MATERIA PRIMA

Las variedades de quinua utilizadas fueron: Blanca Junín, Pasankalla, proveniente de la provincia de Vilcashuamán del departamento de Ayacucho, que fue adquirida en el mercado Nery García del distrito de Ayacucho.

3.2.2 MATERIALES

- Termómetro
- Reloj.
- Bandejas de 20x 15 cm
- Bolsas de nylon.
- Bolas de polietileno.

3.2.3 EQUIPOS

- Prototipo de secador solar mixto e indirecto
- Secador solar indirecto de bandejas
- Balanza analítica marca Henkel(Cap. 300g / 0.01g)
- Determinador de radiación solar.(PIRANOMETRO)
- Multivoltímetro digital PRASEK PREMIUM (PR-301C)
- Determinador de humedad AND (Mx-50)
- Anemómetro de copas.

3.3 ENSAYOS PRELIMINARES

Teniendo en cuenta la experiencia ganada y los datos proporcionados por la empresa de Procesamiento Primario de Granos Corporación Ma & Jh SAC, la cual se dedica al procesamiento primario de los granos quinua. Los ensayos preliminares para el secado solar de la quinua blanca (Blanca de Junín) y roja (Pasankalla) son:

3.3.1 SELECCIÓN DEL TIPO DE SECADOR

Desde el punto de vista de transferencia de energía se pueden distinguir secadores solares directos, indirectos y mixtos. Para la determinación del tipo de secador solar:

- Se usaron dos tipos de secadores solares. En el laboratorio de Tecnología de Alimentos se tiene **un secador de bandejas (secador solar indirecto)** y en los

laboratorios de física se tiene el **prototipo de secador solar mixto e indirecto** (descrito en el acápite 2.4.1).

- Se hizo un control de las temperaturas alcanzadas dentro de la cámara de los dos tipos de secadores (secador de bandejas y prototipo secador solar mixto e indirecto) y la temperatura al medio ambiente.
- Se Registraron las temperaturas cada 5 minutos, en horarios de mayor incidencia solar (8:00 am a 2:00 pm).

3.3.2 DETERMINACIÓN DE LOS ESPESORES DE LECHO Y TIEMPO DE SECADO.

En Ayacucho la quinua lavada se expone directamente a los rayos del solares, los espesores usados son muy variados que van desde 2 milímetros a 10 milímetros aproximadamente, estos espesores no son uniformes. Viendo esta realidad se tomaron espesores de lecho que van desde 2 milímetros a 10 milímetros.

Para la determinación del espesor de lecho a utilizar en la presente investigación se realizaron los siguientes ensayos:

- Previo a la determinación de los espesores. Se lavó la quinua escarificada en agua durante 10 minutos, hasta eliminar el total de saponina (descrito en el acápite 3.4.4.1). Se eliminó el agua impregnada por centrifugación.
- Para determinar los espesores de lecho. La quinua lavada se enrasó en bandejas de 2 milímetros, 4 milímetros, 6 milímetros, 8 milímetros y 10 milímetros, se llevó a secar en el prototipo de secador solar mixto e indirecto, hasta alcanzar humedades de 11% a 12%, durante 4 horas en horarios de mayor incidencia solar (9:00 am a 2:00 pm).
- Los datos fueron registrados en el Tabla 3.1.

TABLA 3.1: Tiempo de secado a diferentes espesores de lecho

FECHA	TIEMPO Y HUMEDAD	MIXTO					INDIRECTO				
		2mm	4mm	6mm	8mm	10mm	2mm	4mm	6mm	8mm	10mm
	HUMEDAD										
	HORA (min)										
	HUMEDAD										
	HORA (min)										
	HUMEDAD										
	HORA (min)										
	HUMEDAD										
	HORA (min)										
	HUMEDAD										
	HORA (min)										
	HUMEDAD										
	HORA (min)										

3.3.3 EVALUACIÓN DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN EL SECADO SOLAR

Los factores que influyen en el secado solar son la velocidad de viento e índice de radiación. Para medir estos factores se utilizó un aerómetro y un determinador del índice de radiación.

- Se evaluó la velocidad del viento y el índice de radiación, en horas de mayor incidencia solar (9:00am a 2:00pm).
- Se registró la velocidad del viento (m/s^2) en la entrada del colector solar, y el índice de radiación (w/m^2) en una base horizontal. También se registraron las temperaturas alcanzadas ($^{\circ}C$) en los secadores y el medio ambiente.
- Los datos fueron registrados en el Tabla 3.2, para su posterior evaluación.

TABLA 3.2: Tiempo de secado en diferentes secadores solares

[illegible]

3.4 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La figura 3.1, muestra el diagrama de proceso experimental para la determinación del tiempo de secado de la quinua (*chenopodium quinoa*) lavada usando un secador solar mixto e indirecto en Ayacucho.

A continuación se realizó una breve descripción del procesamiento primario de la quinua blanca (blanca de Junín) y roja (pasankalla).

3.4.1 Recepción de materia prima

Se recibió la materia prima (quinua), provenientes de los lugares citados en sacos. Estos fueron de variedad blanca de Junín y Pasankalla (roja) y se realizaron algunos controles como: proveedores, procedencia, descripción, composición, características sensoriales, características físicas, formas de operación, periodo de almacenamiento, condiciones de manejo y conservación, etc.

3.4.2 Clasificación y venteado

Se realizó con la finalidad de obtener productos homogéneos de quinua en un sistema gravimétrico, donde los granos son sometidos a ventilado y zarandeado por vibración, donde se clasificó los granos eliminando polvo, pajillas y otras materias extrañas. Esta operación debe permitir la clasificación por tamaño y eliminación de los peligros físicos de los granos.

3.4.3 Escarificado

En esta operación los granos de quinua fueron sometidos a calor y fricción, cuyo objetivo fue extraer en seco el mayor porcentaje posible de episperma (cáscara) del grano, luego pasó por un doble sistema de succión del polvo (saponina). En este proceso se eliminó más del 98.0 % de saponina de los granos de quinua, con lo cual se redujo el riesgo de peligro químico.

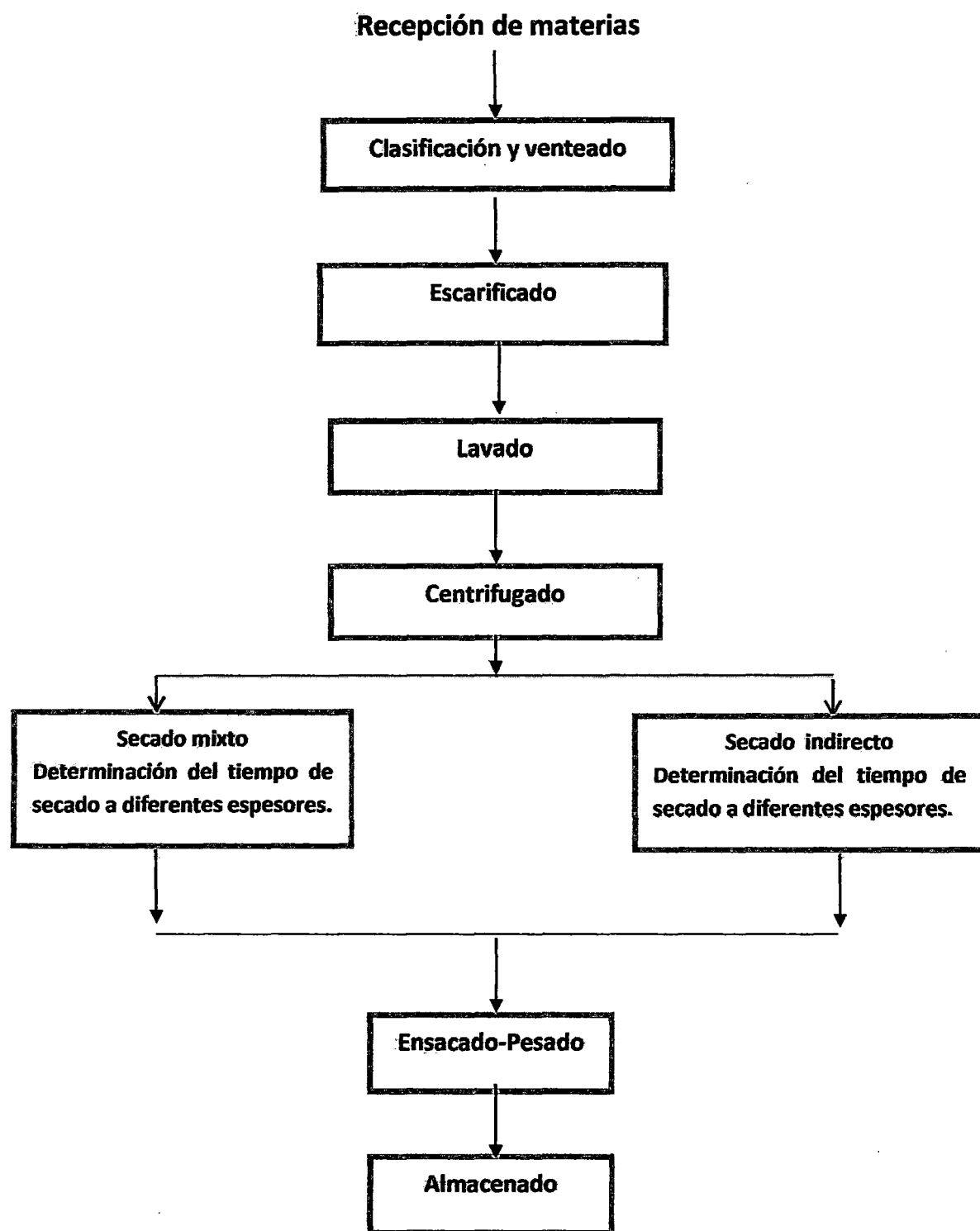


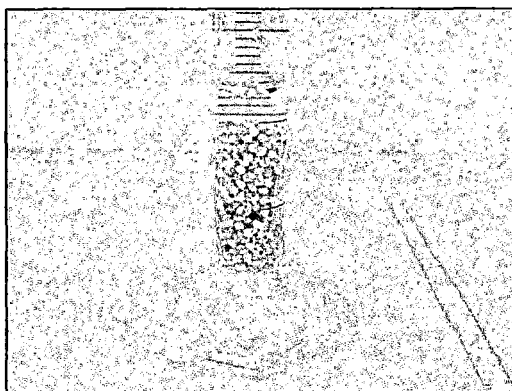
Fig. N° 3.1: Diagrama de proceso del procesamiento primario de quinua.

3.4.4 Lavado

Estos procesos se realizaon con la quinua escarificada, tiene la finalidad de eliminar las saponinas remanentes en el grano escarificado y lavar las impurezas adheridas al mismo. Se realizó control del contenido de saponina mediante un método cualitativo.

3.4.4.1 Determinación de Saponina (Método cualitativo)

Se toma una cierta cantidad de quinua lavada y se coloca dentro de una probeta, se agita el envase con los granos de quinua lavada, si se observa que este no genera espuma, quiere decir que no hay presencia de saponina.



3.4.5 Centrifugado

El centrifugado, cuyo objetivo es eliminar el agua adherida al grano de quinua lavada. Esta operación se realizó en una centrifugadora.

3.4.6 Secado

Los granos de quinua lavada y centrifugada fueron transportados al prototipo de secador mixto e indirecto. En esta operación se realiza un control estricto del tiempo y temperatura determinando la humedad de los granos de quinua.

Al iniciar esta operación la quinua tiene una humedad de 29.0% a 30.0%. Esta se cargó y enrasó en bandejas de 20 x 15 cm, de espesores de 2 milímetros, 4 milímetros, 6 milímetros y 8 milímetros.

Para el secado se utilizó el prototipo de secador solar de bandejas (indirecto) y un prototipo de secador solar para el secado de lúcuma, diseñado para Ayacucho (mixto). Esta operación duró hasta que estas tengan humedades menores de 11% a 12%.

3.4.6.1 DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LA DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE SECADO DE LA QUINUA (*chenopodium quinoa*) LAVADA USANDO UN PROTOTIPO DE SECADOR SOLAR MIXTO E INDIRECTO EN AYACUCHO”

El diseño experimental para la determinación del tiempo de secado de la quinoa, usando un prototipo de secador solar mixto e indirecto en Ayacucho, fue el Diseño factorial 2x2x3 con 7 repeticiones, bajo el Diseño Completo al Azar para evaluar los atributos de tiempo de secado.

Tabla 3.3. Variables, indicadores e índices

Variables de la investigación		Indicadores
Independientes		
Parámetros de secado	1.1. Tipo de secador	1.1.1. Temperatura (°C) en Secado solar directo. 1.1.2. Temperatura (°C) en Secado solar indirecto.
	1.2. Espesor de lecho de quinoa	1.2.1. Altura (mm.)
	1.3. Variedad de quinoa	1.3.1. Características propias de la variedad.
Dependientes		
Contenido de humedad de quinoa lavada.	2.1. Tiempo de secado	2.1.1. Minutos (min)
	2.2. Propiedades organolépticas	2.1.2. Color.

3.4.6.1.1 DETERMINACIÓN DE LOS TIEMPOS ÓPTIMOS DE SECADO DE LA QUINUA (Blanca de Junín y Pasankalla)

Para la determinación de los tiempos óptimos, de secado de la quinoa (variedades Blanca de Junín y Pasankalla), en la presente investigación se realizaron los siguientes ensayos:

- Se lavó la quinoa (Blanca de Junín y Pasankalla) escarificada en agua durante 10 minutos, hasta eliminar el total de saponina. Se eliminó el agua impregnada por centrifugación.

- La quinua lavada se colocó en bandejas de 2 milímetros, 4 milímetros, 6 milímetros y 8 milímetros.
- Se llevó a secar en el prototipo de secador solar mixto e indirecto, durante 4 horas de 9:00 am a 1:00 pm, hasta alcanzar humedades de 11% a 12%. En el secado de la quinua se llevaron a cabo controles (radiación solar y velocidad de viento).
- Los datos de tiempos y humedades fueron registrados en el Tabla 3.4.

Tabla 3.4. Control de la humedad en el secado de la quinua (Blanca de Junín y Pasankalla)

FECHA	Tiempo y Humedad	MIXTO				INDIRECTO			
		2mm	4mm	6mm	8mm	2mm	4mm	6mm	8mm
	Tiempo								
	Humedad								
	Tiempo								
	Humedad								
	Tiempo								
	Humedad								
	Tiempo								
	Humedad								
	Tiempo								
	Humedad								
	Tiempo								
	Humedad								
	Tiempo								
	Humedad								

Los tiempos obtenidos de secado fueron registrados en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5. Resultado de las pruebas en la determinación del tiempo de secado de la quinua (*Chenopodium quinoa*) lavada utilizando un secador mixto-indirecto para Ayacucho.

VARIEDAD DE QUINUA	TIPO DE SECADOR	ESPESOR DE LECHO	TIEMPO DE SECADO(min)							EVALUACIÓN SENSORIAL
			1	2	3	4	5	6	7	COLOR
Blanca de Junín	MIXTO	2mm								
		4mm								
		6mm								
		8mm								
	INDIRECTO	2mm								
		4mm								
		6mm								
		8mm								
Pasankalla (Roja)	MIXTO	2mm								
		4mm								
		6mm								
		8mm								
	INDIRECTO	2mm								
		4mm								
		6mm								
		8mm								

3.4.6.1.2 Evaluación estadística

El análisis estadístico que se utilizó, para la determinación del tiempo de secado de la quinua lavada usando un prototipo de secador solar mixto e indirecto en Ayacucho, fue el Diseño experimental factorial (Diseño completo al azar) y completamente randomizado para evaluar los atributos de tiempo de secado, para ello se realizó el análisis de varianza (ANVA) que sirve para estudiar las diferencias de los tratamientos utilizados, posteriormente se efectuó la prueba de comparación de Tukey, si hubiera significancia. Se utilizó a un nivel de significancia de 95%.

Modelo estadístico lineal bajo el diseño completo al azar:

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

Dónde:

Y_{ijk} =Es la respuesta.

μ =Constante, media de la población a la cual pertenecen las observaciones.

α_i =Efecto del i-ésimo variedad de quinua.

β_j =Efecto del j-ésimo tipo de secado.

γ_k =Efecto del k-ésimo espesor de lecho de quinua.

$(\alpha\beta)_{ij}$ =Efecto de la interacción correspondientes a las i-ésimo de la variedad de quinua y j-ésimo tipo de secado.

$(\alpha\gamma)_{ik}$ =Efecto de la interacción correspondientes a las i-ésimo de la variedad de quinua y k-ésimo espesor de lecho.

$(\beta\gamma)_{jk}$ =Efecto de la interacción correspondientes a las j-ésimo tipo de secado y k-ésimo espesor de lecho.

$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ =Efecto de la interacción correspondientes a las i-ésimo de la variedad de quinua, j-ésimo tipo de secado y k-ésimo espesor de lecho.

ϵ_{ijk} =Efecto del error experimental correspondiente a la i-ésimo de la variedad de quinua, j-ésimo tipo de secado y k-ésimo espesor de lecho.

3.4.6.1.3 Evaluación sensorial

La valoración sensorial en la determinación del tiempo de secado de la quinua (*Chenopodium quinoa*) lavada usando un secador solar mixto e indirecto en Ayacucho, se realizó haciendo uso de pruebas descriptivas a través de la metodología de la escala hedónica, estas pruebas se realizaron para evaluar la aceptabilidad y/o preferencia del producto, el panel estuvo conformado por un grupo de 15 jueces entrenados, a quienes se pidió evaluar el atributo de color. Se utilizó una escala hedónica de (1-9) puntos según la ficha de evaluación sensorial que a continuación se detalla en el Tabla 3.6 de ponderaciones.

Tabla 3.6. Ponderaciones asignadas para la evaluación sensorial.

ESCALA DE CALIFICACIÓN	PUNTAJE ASIGNADO
Me gusta extremadamente	9
Me gusta mucho	8
Me gusta moderadamente	7
Me gusta poco	6
Me es indiferente	5
Me disgusta poco	4
Me disgusta moderadamente	3
Me disgusta mucho	2
Me disgusta extremadamente	1

3.4.6.1.4 CONTROLES EN LA DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE SECADO SOLAR DE LA QUINUA.

Los controles en la determinación del tiempo de secado de la quinoa fueron:

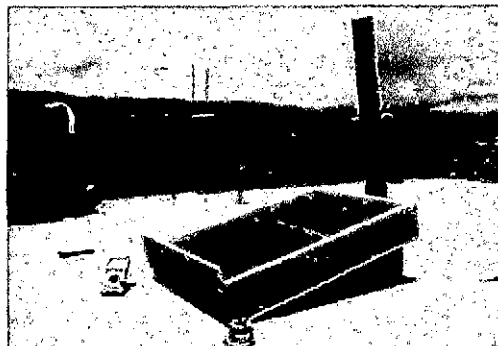


Figura 3.2: Montaje final del secador mixto- indirecto

a. Velocidad de viento

Se utilizó un anemómetro de copas para determinar de la velocidad de viento (m/s^2), estos datos se registrarán en el Tabla 3.7 y fueron graficados para su posterior discusión. El control se realizó en horas de mayor incidencia solar.

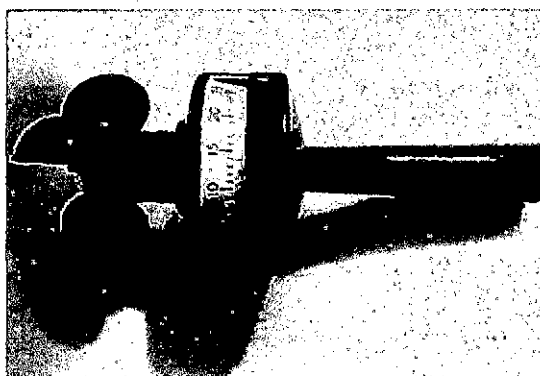


Figura 3.3: Anemómetro de copas

b. Radiación

Se utilizó un piranómetro para determinar de la índice de radiación (w/m^2), estos datos se registró en el Tabla 3.7 y fueron graficados para su posterior discusión. El control se realizó en horas de mayor incidencia solar.

Los datos registrados de radiación se obtuvieron en unidades de mV, estos se convertirán a unidades de W/m^2 ($100mV \leftrightarrow 1000W/m^2$). Los datos obtenidos se hicieron en un piranómetro con la ayuda de un multivoltímetro.



Figura 3.4: Multivoltímetro usado para la lectura del piranómetro.



Figura 3.5: Piranómetro usado para la determinación del índice de radiación

c. Temperaturas en el secador

Se utilizó termómetros digitales, de mercurio y alcohol para la determinar la temperatura ($^{\circ}C$), estos datos se registrarán en la tabla 3.7 y serán graficados para su posterior discusión. El control se realizará de 9:00am a 1:00pm (horas de mayor incidencia solar)

Los controles registraron las temperaturas en el secado solar (mixto e indirecto) y al aire libre. Los termómetros se ubicaron en las bandejas que contienen los granos quinua, dentro del secador solar.

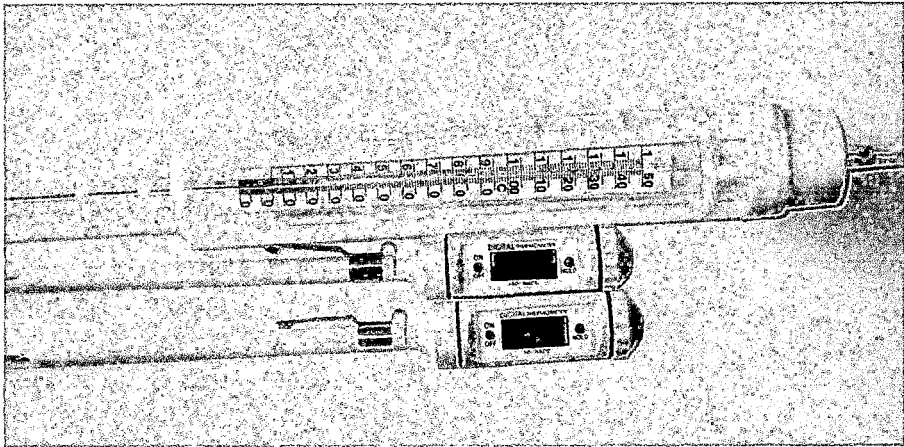


Figura 3.6: Termómetros utilizados en la investigación

Tabla 3.7. Controles en el tiempo de secado de la quinua

QUINUA (05/11/13)					
Hora	T ambiente	T mixto	T indirecto	Radiación	Viento

3.4.6.1.5 CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE MASA, CONTENIDO DE HUMEDAD Y VELOCIDAD DE SECADO EN EL SECADO SOLAR DE LA QUINUA

1. Se lavó la quinua (Blanca de Junín y Pasankalla) escarificada en agua durante 10 minutos, hasta eliminar el total de saponina. Se elimina el agua impregnada por centrifugación.
2. Se cargaron muestras de quinua lavada-centrifugada, en bandejas, con masas semejantes.
3. Se realizó el secado solar mixto, indirecto y directo. Se registró la pérdida de masa del producto en intervalos de tiempo, cada 10 minutos durante 4 horas. Se utilizó una balanza analítica y un reloj.

Pérdida de masa

masa de agua evaporada (g) = masa inicial de quinua (g) – masa de quinua en un tiempo(g)

Contenido de humedad

Humedad libre = $\frac{(masa\ total\ de\ agua\ evaporada - masa\ de\ agua\ evaporada\ en\ un\ tiempo)}{masa\ seca}$

Velocidad de secado

Velocidad de secado = $\frac{masa\ de\ agua\ en\ un\ tiempo\ (g)}{tiempo\ (h)}$

3.4.1 Empacado-pesado

En el proceso de ensacado y pesado, se aplicó las más rigurosas prácticas de higiene y el cierre, para evitar la contaminación del producto.

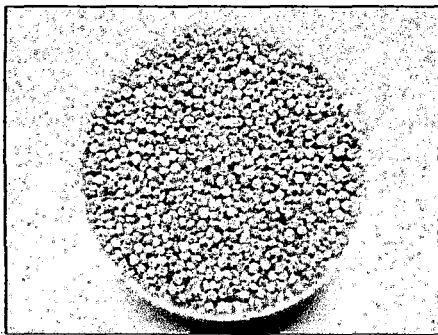
3.4.2 Almacenado

El almacén del producto terminado fue ubicado en un espacio independiente, exento de humedad y tuvo una adecuada iluminación. El producto fue almacenado bajo condiciones adecuadas sobre parihuelas, y su correcto armado en rumas de acuerdo al lote y día de producción.

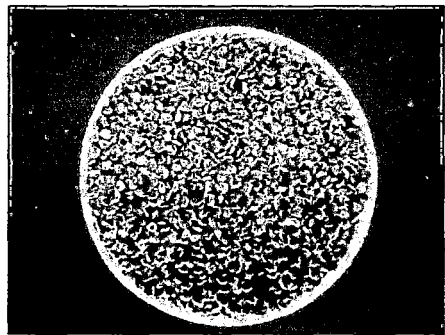
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS PRELIMINARES

Las variedades de quinua utilizadas fueron:



Blanca de Junín



Pasankalla

4.1.1 RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DEL TIPO DE SECADOR

Los datos de temperaturas alcanzadas, en la cámara de secado, en los diferentes tipos de secadores (mixto, indirecto y directo), a diferentes periodos de tiempo, se muestran en las Tablas N° 4.1 y 4.2 (ANEXOS I). Estos datos se registraron los días 20 de setiembre de 9:30am a 12:50 am y el 21 de setiembre de 9:30am a 2:00pm en horarios de mayor incidencia solar.

Las temperaturas medias alcanzadas el 20 de setiembre del 2013 fueron; 25.4°C en el secador directo, 39.1°C en el secador indirecto y 71.4°C en el secador mixto. El 20 de setiembre del 2013 las temperaturas medias alcanzadas son; 27.5°C en el secador directo, 39.6°C en el secador indirecto y 64.7°C en el secador mixto.

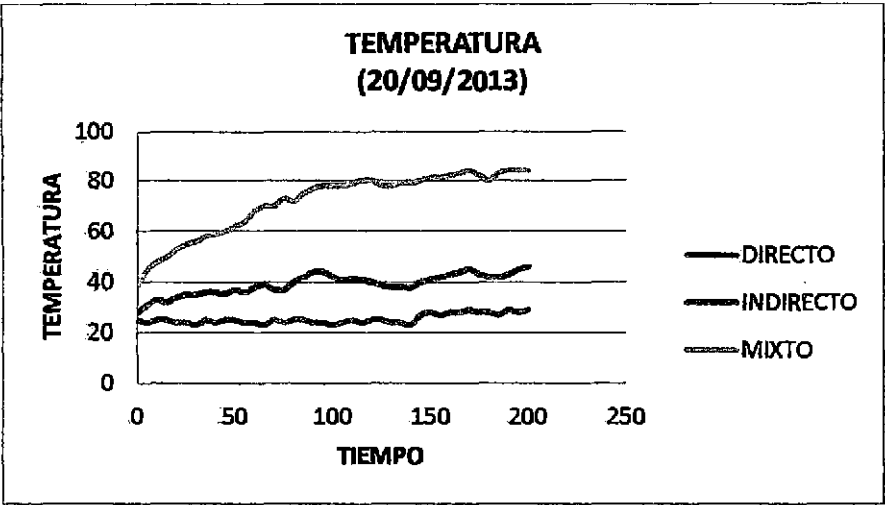


Figura 4.1: Temperaturas alcanzas por los secadores (20/09/2013).

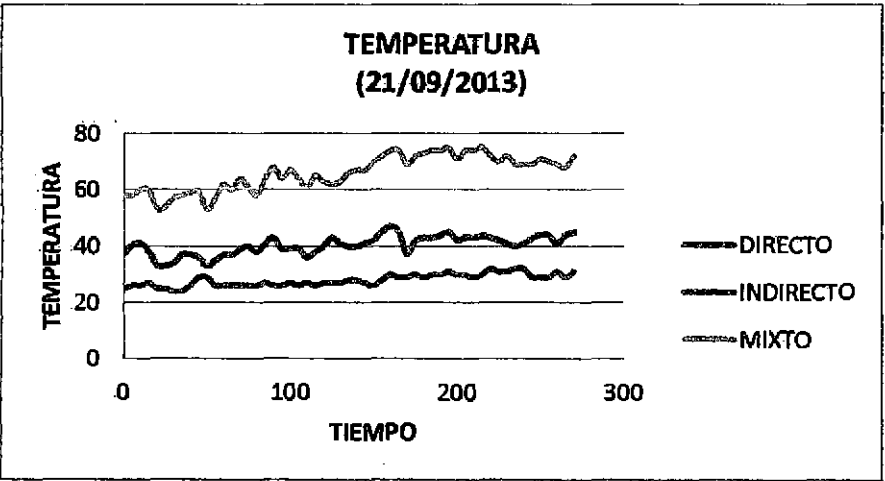


Figura 4.2: Temperaturas alcanzas por los secadores (21/09/2013).

4.1.1.1 SECADO SOLAR DIRECTO

Montero (2005) manifiesta que; en el secado natural o secado directo al sol, el producto está expuesto a la radiación solar, al viento y a otras condiciones ambientales, siendo el sol la única fuente de energía. La radiación de onda corta incidente del sol es absorbida por el producto y parte es reflejada, una fracción de la radiación absorbida y el aire caliente que circula sobre el producto provoca el calentamiento superficial del mismo, dando lugar a la propagación de calor al interior (consiguiéndose la elevación en la temperatura del producto y producción de vapor de agua) y a la evaporación de la humedad superficial, lográndose de esta forma la desecación del producto. Sin embargo, la otra fracción se pierde por la transmisión de la radiación de onda larga al ambiente y por la conducción a través de los elementos en contacto con el terreno). En la figura 4.1 y 4.2, las curvas de temperatura del secador directo son de tendencia constante, esto se debe a que la única fuente de energía es el sol, una fracción de esta energía se encargará de la desecación de los granos de quinua y la otra se perderá. El 20 de setiembre, el secador directo, alcanzó una temperatura máxima y mínima de 29°C y 23°C respectivamente, el 21 de setiembre, el secador directo, alcanzó una temperatura máxima y mínima de 32°C y 24°C.

4.1.1.2 SECADO SOLAR INDIRECTO

Román (2005) manifiesta que, el aire de secado se precalienta con colectores solares y el aire caliente se inyecta a la cámara de secado. El aire le transfiere calor al producto y este pierde humedad. El proceso que sigue el aire es similar a un enfriamiento adiabático. Al pasar el aire por las bandejas va ganando humedad y enfriándose. Tienen la ventaja de que el producto está protegido de la radiación y si se cuidan las temperaturas la calidad es muy buena. Las temperaturas alcanzadas, en el secador solar indirecto, son superiores a las temperaturas alcanzadas en el secador solar directo. El secador indirecto sólo recibe calor del aire calentado en el colector, el diseño del secador indirecto permite alcanzar temperaturas más elevadas y evita pérdidas de calor, utilizadas en la desecación de los granos de quinua.

En la figura 4.1, la curva de temperatura en el secador solar indirecto, se incrementa ligeramente en el tiempo y en la figura 4.2, la curva de temperatura en el secador solar indirecto, tiene una tendencia constante. El 20 de setiembre, el secador indirecto, alcanzará una temperatura máxima y mínima de 46°C y 28°C respectivamente, el 21 de setiembre, el secador indirecto, alcanzará una temperatura máxima y mínima de 45°C y 33°C. Montero (2005) manifiesta que; los dos parámetros externos que más condicionan el secado solar son la temperatura (radiación solar) y la velocidad del aire ambiente. Será necesario un compromiso entre la temperatura de secado y la velocidad de paso del fluido para obtener un secado adecuado en este último. Esta diferencia se deberá a que estos parámetros son diferentes en esos días.

4.1.1.3 SECADO SOLAR MIXTO

Moreno (2001) nos manifiesta; que los secadores solares mixtos son aquellos donde la colección de radiación se realiza tanto en el colector solar previo a la cámara de secado como en la misma cámara de secado. En la figura 4.1 y 4.2, las curvas de temperaturas, en el secador mixto, se incrementan en el tiempo. El secador solar mixto recibe energía- calor de dos fuentes (el colector y la cámara de secado), esto hace que este tipo de secador solar sea más eficiente, alcanzando temperaturas superiores al secador indirecto y al directo.

Asimismo se ve claramente que las temperaturas alcanzadas por el secador solar mixto son mayores a la del secador indirecto y estas mayores a las del secador directo.

Almada (2005) menciona, los factores claves para un buen secado son entonces; aire caliente a una temperatura de 40 a 70°C, aire con un bajo contenido de humedad, movimiento constante del aire. Las temperaturas medias alcanzadas en el secador mixto son, 71.4°C el 20 de setiembre y 64.7°C el 21 de setiembre. Las temperaturas oscilan entre 39°C y 84°C el 20 de setiembre, y entre 58°C y 75°C el 21 de setiembre.

Las temperaturas alcanzadas en el secador mixto son superiores al secador indirecto y secador directo. Además, uno de los factores claves para un buen secado es el aire

caliente a una temperaturas de 40°C a 70°C (Almada, 2005), las temperaturas en el secador mixto oscilan entre 40°C y 70°C.

Los secadores solares a utilizar en la presente investigación, serán el secador solar mixto e indirecto, ya que las temperaturas obtenidas son superiores al secado directo. En el secador mixto se obtienen temperaturas dentro del rango mencionado por Almada (2005).

4.1.2 RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE LOS ESPESORES DE LECHO Y TIEMPO DE SECADO.

En la tabla 4.1 se tiene los resultados de porcentajes de humedades alcanzadas por la quinua a diferentes espesores de lecho (2, 4, 6, 8 y 10 milímetros) y tipos de secador (mixto e indirecto), durante 4 días. Asimismo se tienen los resultados del tiempo de secado, en cada uno de los secadores, hasta alcanzar los porcentajes de humedad adecuados (aprox. 12%).

Tabla 4.1: Resultados de la evaluación de los espesores de lecho a utilizar.

FECHA DE ENSAYO	HUMEDAD Y TIEMPO	SECADO MIXTO					SECADO INDIRECTO				
		2mm	4mm	6mm	8mm	10mm	2mm	4mm	6mm	8mm	10mm
03/10/2013	HUMEDAD (%)	13.21	14.12	12.83	14.30	>22	14.51	15.20	13.20	12.51	>22
	TIEMPO (min.)	70	70	120	140	240	150	150	210	240	240
07/10/2013	HUMEDAD (%)	13.18	13.92	12.52	14.32	>22	13.22	10.80	11.50	12.52	>22
	TIEMPO (min.)	70	80	120	140	240	160	170	230	240	240
09/10/2013	HUMEDAD (%)	13.80	14.50	12.26	14.80	>22	13.11	14.18	12.48	12.41	>22
	TIEMPO (min.)	70	70	120	130	240	150	160	220	240	240
11/10/2013	HUMEDAD (%)	13.74	13.61	12.03	14.14	>22	13.18	11.64	12.24	12.10	>22
	TIEMPO (min.)	70	80	130	140	240	160	170	230	240	240

En la tabla N° 4.1, los tiempos de secado obtenido son directamente proporcionales a sus espesores de lecho, a mayor espesor de lecho mayor tiempo de secado. Los tiempos de secado obtenidos son mayores en orden ascendente, a sus espesores de lecho, 2

milímetros < 4 milímetros < 6 milímetros < 8 milímetros < 10 milímetros. El tiempo de secado a un espesor de lecho de 2 milímetros será menor al resto de espesores, y el tiempo de secado a un espesor de lecho de 10 milímetros será mayor al resto de espesores.

En el secador mixto e indirecto, el espesor de lecho de 10 milímetros no alcanzó la humedad esperada y el secado no es uniforme, sólo secó la parte superficial del lecho. Por lo tanto en el secador mixto e indirecto, no se realizó pruebas a 10 milímetros espesor de lecho.

Asimismo el espesor de lecho es directamente proporcional a la cantidad de quinua secada (a mayor espesor de lecho mayor será la cantidad de quinua secada), el espesor de lecho de 8 milímetros seca mayor cantidad de granos de quinua que el resto de espesores.

Almada (2005) no manifiesta; que el tiempo de secado depende de varios factores, estos son: Tipo de producto (mayor contenido de agua, mayor tiempo), tamaño, volumen, cantidad del producto (más grande, mayor tiempo), temperatura del aire (más elevada, menor tiempo), humedad relativa del aire (más elevada, mayor tiempo), velocidad del aire (más elevada, menor tiempo). En el secador mixto e indirecto, a mayor espesor de lecho a secar mayor será el tiempo de secado. Para determinar el tiempo de secado, se toma como referencia el tiempo de secado del mayor espesor de lecho.

En la Tabla 4.1 los tiempos de secado que se obtuvieron, en el secador mixto a diferentes espesores de lecho (2mm, 4mm, 6mm, 8mm y 10mm), son menores a los tiempos de secado obtenidos en el secador indirecto. Para la determinar el tiempo de secado se tuvo que tomar como referencia al secador indirecto.

En el secador mixto e indirecto, los espesores de lecho utilizados fueron 2, 4, 6, 8 y 10 milímetros. Los espesores de lecho de 2 a 8 milímetros alcanzaron humedades aceptables (aproximadas al 12% de humedad), mientras que el espesor de lecho de 10 milímetros no

alcanzó la humedad esperada. Entonces los espesores de lecho a utilizar en la presente investigación son de 2, 4, 6 y 8 milímetros.

Para la determinación del tiempo de secado, se tomó como referencia el mayor espesor de lecho (8 milímetros) en el secador indirecto. El tiempo de secado para la presente investigación fue de 4 horas.

4.1.3 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN EL SECADO SOLAR DE LOS GRANOS DE QUINUA

Los datos de las velocidades de viento, radiación solar y temperaturas alcanzadas en el secador mixto, indirecto y directo, a diferentes periodos de tiempo, se muestran en las Tablas N° 03, 04, 05 y 06 en los ANEXOS I. Estos datos se registraron los días 03, 07, 09 y 11 de octubre del 2013, la hora de inicio en los días de evaluación son; 9:20 am, 11:25 am, 9:00 am y 9:10 am respectivamente.

4.1.3.1 RADIACIÓN SOLAR

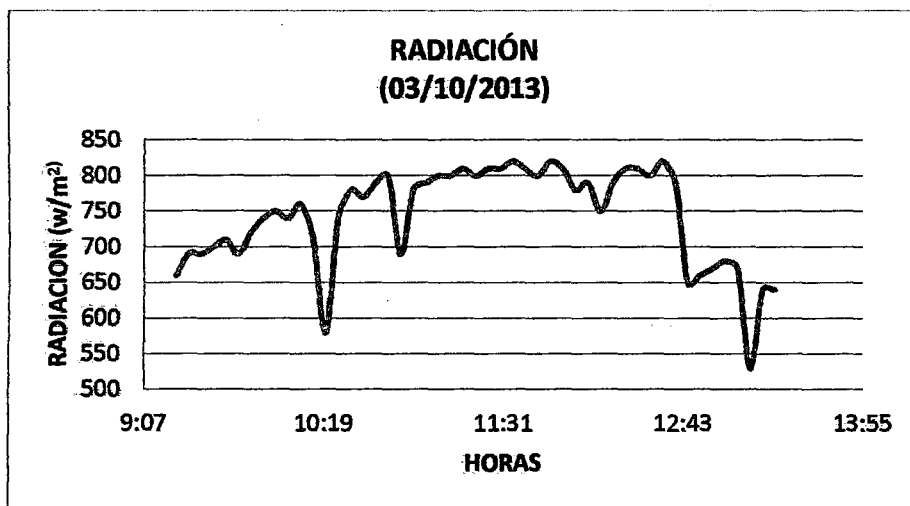


Figura 4.3: Variación de la radiación en el tiempo (03/10/2013)

En casi todo el territorio peruano, en particular en los andes, la radiación solar promedio mensual es durante todo el año alta. En la mayor parte del Perú, el promedio mensual de la energía solar incidente sobre la superficie horizontal es mayor de 500w/m^2 por día (SENAMHI, 2011). En la Figura 2.1 se puede apreciar, la energía solar incidente diaria en el Departamento de Ayacucho, siendo de 650w/m^2 a 700w/m^2 (SENAMHI, 2011). Las radiaciones medias alcanzadas el 03, 07, 09 y 11 de octubre del 2013 son; 744 w/m^2 , 671 w/m^2 , 778 w/m^2 y 751 w/m^2 respectivamente. Se puede apreciar que las radiaciones medias alcanzadas en los días de evaluación son parecidos a los mencionados por el SENAMHI, 2011.

En la figura 4.3, la radiación para el 03 de octubre del 2013 oscila entre 640 w/m^2 y 810 w/m^2 , alcanzado sus radiaciones máximas de 11: 00 am a 1:00 pm. En la figura 4.4, la radiación oscila entre 120 w/m^2 y 880 w/m^2 , alcanzando sus radiaciones más elevadas a partir de las 11:00 am y 1:00 pm, a partir de esta hora empieza a descender la radiación. Este fenómeno también se observó los días 09 y 11 de octubre, para mayor detalle revisar el ANEXO I. Para la presente investigación se tomarán horarios de mayor incidencia solar, a partir de la 9:00 am a 1:00pm.

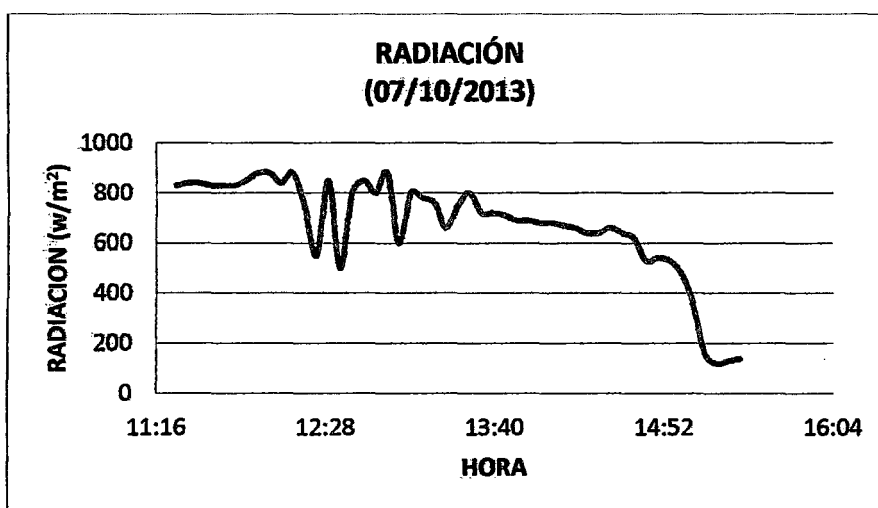


Figura 4.4: Variación de las radiación en el tiempo (07/10/2013)

Los dos elementos básicos de un secador solar son: el colector, donde la radiación calienta el aire y la cámara de secado, donde el producto es deshidratado por el aire que pasa. (Almanza, 1994). Entonces a mayor índice de radiación solar, el aire alcanzará temperaturas más elevadas, y el secado de los granos de quinua será más rápido.

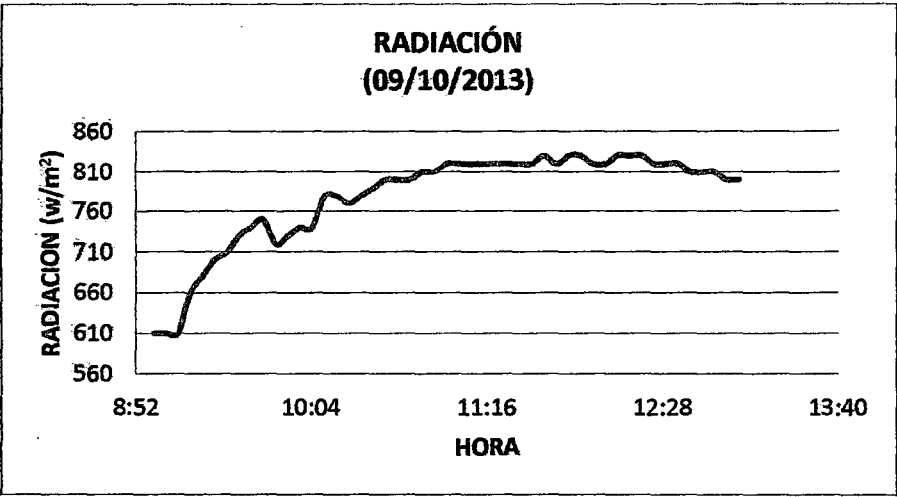


Figura 4.5: Variación de las radiación en el tiempo (09/10/2013)

En las figuras 4.3, 4.4, 4.5 y 4.6 se observa el comportamiento de la radiación solar, se ve que la radiación decae debido a la presencia de nubosidades, estos no permiten el paso de los rayos de sol.

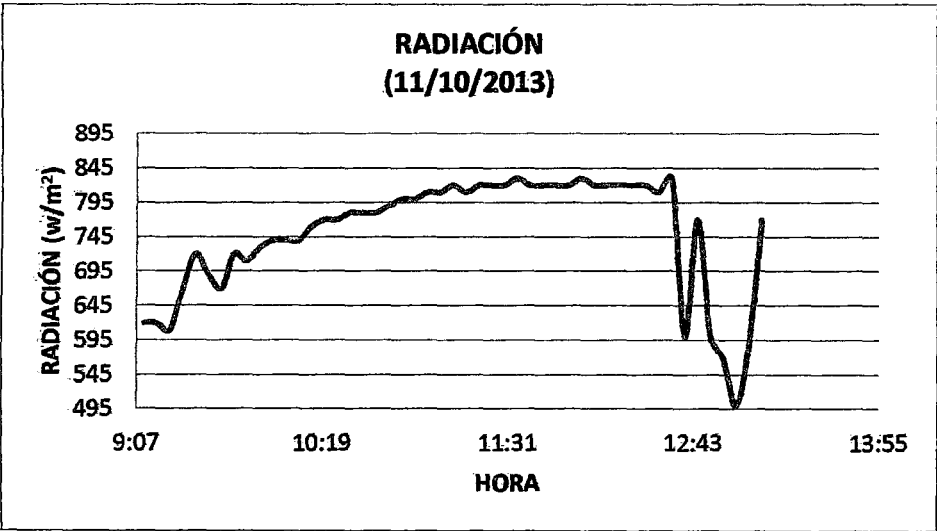


Figura 4.6: Variación de las radiación en el tiempo (11/10/2013)

4.1.3.2 VELOCIDAD DE VIENTO

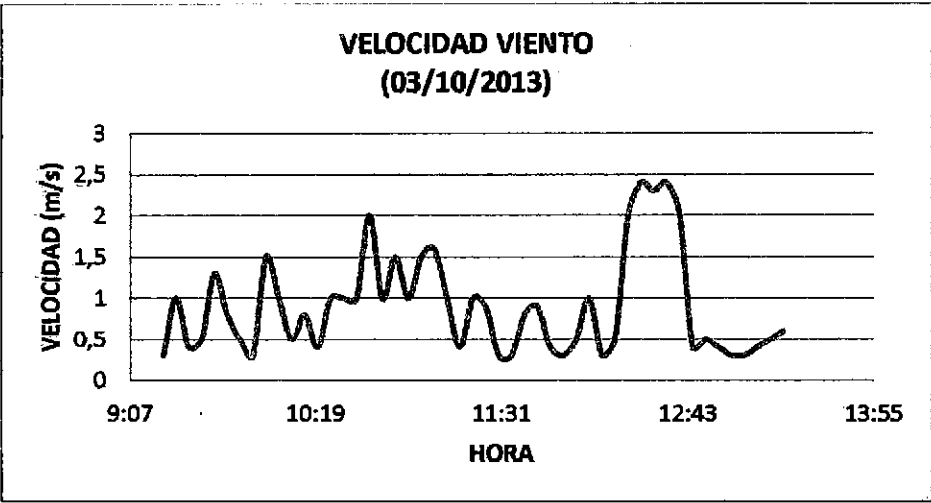


Figura 4.7: Variación de la velocidad del viento en el tiempo (03/10/2013)

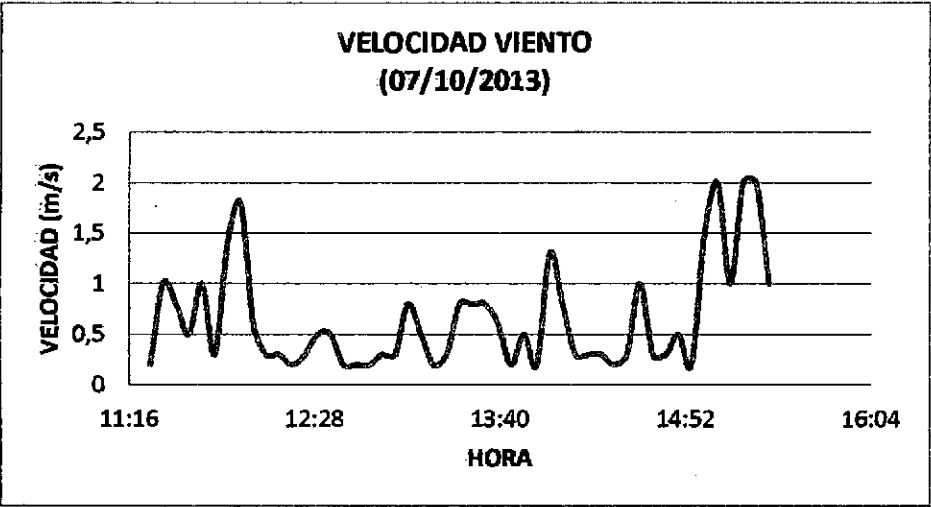


Figura 4.8: Variación de la velocidad del viento en el tiempo (07/10/2013)

Para equipos pequeños o medianos se pueden lograr velocidades de aire de 0,4 a 1 m/s al interior de la cámara (Almanza, 1994). Las velocidades medias alcanzadas el 03, 07, 09 y 11 de octubre del 2013 son; 0,9 m/s, 0,7 m/s, 0,7 m/s y 0,5 m/s respectivamente. Las velocidades medias están dentro del rango mencionado por Almanza, (1994).

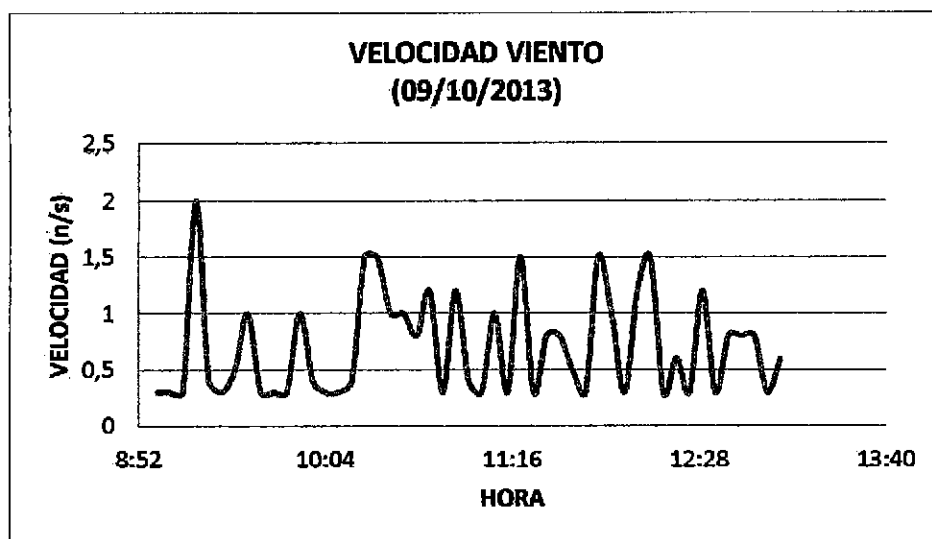


Figura 4.9: Variación de la velocidad del viento en el tiempo (09/10/2013)

Almada (2005) manifiesta; uno de los factores claves para un buen secado es que el movimiento de aire sea constante. En las figuras 4.7, 4.8, 4.9 y 4.10. La velocidad de viento para el 03 de octubre del 2013 oscila entre 0,3 m/s y 2,4 m/s, para el 07 de octubre del 2013 oscila entre 0,2 m/s y 2,0 m/s, para el 09 de octubre del 2013 oscila entre 0,3 m/s y 1,5 m/s y para el 11 de octubre del 2013 oscila entre 0,2 m/s y 1,2 m/s. Estos son constantes y son de tendencia variable en el tiempo, para mayor detalle revisar los Anexos 4.1 (Tablas de resultados preliminares).

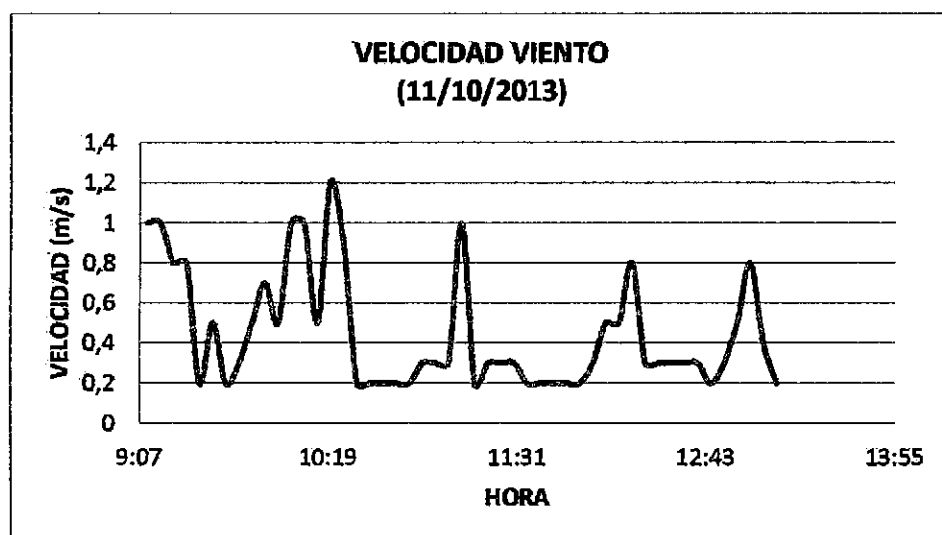


Figura 4.10: Variación de la velocidad del viento en el tiempo (11/10/2013)

Moreno (2005) no dice; que el aire en contacto con el producto es encargado de extraer su humedad. La temperatura inicial de la corriente de aire desciende conforme avanza en el secador. A mayor velocidad de viento, se extrae mayor cantidad de humedad de la quinua a secar.

4.1.3.3 TEMPERATURA ALCANZADA

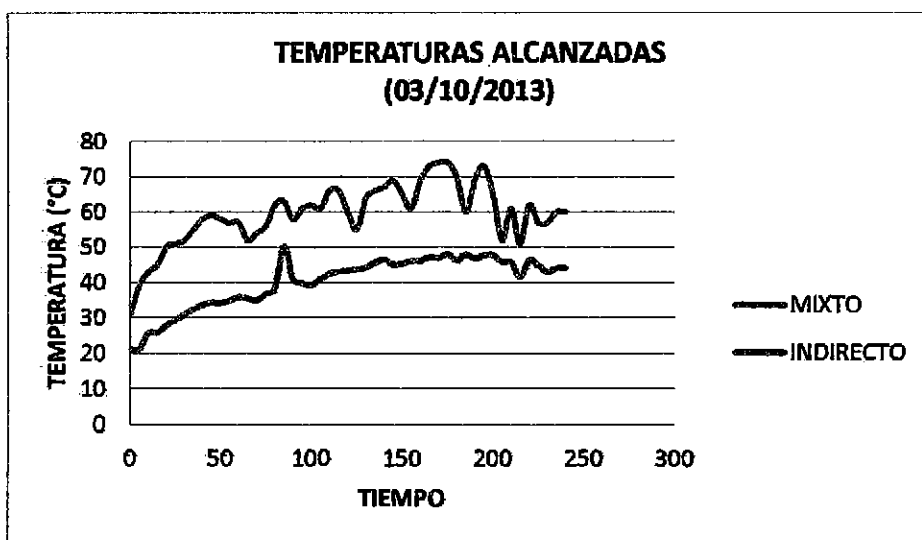


Figura 4.11: Variación de la temperatura en el tiempo (03/10/2013)

Almada (2005) nos dice; que los factores para un buen secado son; movimiento constante del aire, aire con bajo contenido de humedad, aire caliente a una temperatura de 40°C a 70°C. Las temperaturas medias alcanzadas el 03 de octubre del 2013 son; 59,4°C en el secador solar mixto y 40,2°C en el secador indirecto. El 07 de octubre del 2013 las temperaturas medias alcanzadas son; 60,2°C en el secador mixto y 39,1°C en el secador indirecto. El 09 de octubre del 2013 las temperaturas medias alcanzadas son; 55,9°C en el secador mixto, 38,9°C en el secador indirecto y 22,3°C en el secador directo. El 11 de octubre del 2013 las temperaturas medias alcanzadas son; 58,2°C en el secador mixto, 37,7°C en el secador indirecto y 24,3°C en el secador directo. Se puede apreciar que las

temperaturas medias alcanzadas en el secador mixto están dentro del rango y este alcanza temperaturas más elevadas que el resto de secadores.

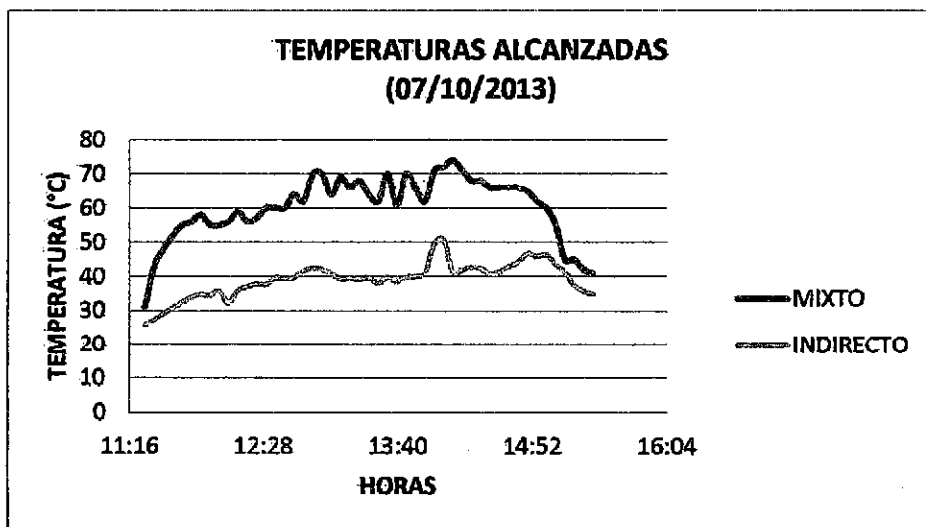


Figura 4.12: Variación de la temperatura en el tiempo (07/10/2013)

Almada (2005) manifiesta; que el tiempo de secado depende de varios factores, uno de ellos es, la temperatura del aire, donde a mayor temperatura del aire menor tiempo de secado. Mientras mayor sea la radiación solar en el día, mayor son las temperaturas alcanzadas en el secador.

En las figura 4.11, 4.12, 4.13 y 4.14, las temperaturas alcanzadas en el secador mixto, son superiores a las temperaturas en el secador indirecto y estas a su vez son mayores al secador directo. En el secador mixto, el 03 de octubre alcanza temperaturas que oscilan de 31°C a 74°C, el 07 de octubre alcanzan temperaturas que oscilan de 31°C a 74°C, el 09 de octubre alcanzan temperaturas que oscilan de 26°C a 69°C y el 11 de octubre alcanzan temperaturas que oscilan de 40 °C a 70°C. En el secador indirecto, el 03 de octubre alcanza temperaturas que oscilan de 21°C a 50°C, el 07 de octubre alcanzan temperaturas que oscilan de 26°C a 51°C, el 09 de octubre alcanzan temperaturas que oscilan de 20°C a 48°C y el 11 de octubre alcanzan temperaturas que oscilan de 26 °C a 44°C. La temperatura del medio ambiente, el 09 de octubre alcanzan temperaturas que oscilan de 19°C a 29°C y el 11 de octubre alcanzan temperaturas que oscilan de 20 °C a 29°C.

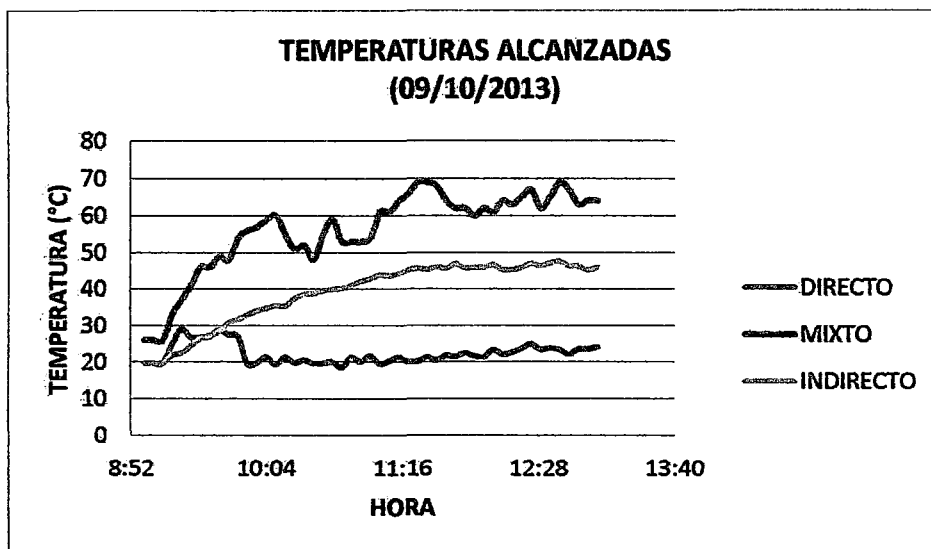


Figura 4.13: Variación de la temperatura en el tiempo (09/10/2013)

Almanza (1994) nos menciona; que dos elementos básicos de una secadora solar son: el colector, donde la radiación calienta el aire y la cámara de secado, donde el producto es deshidratado por el aire que pasa. En los secadores indirectos, la radiación solar calienta el aire en el colector, este pasa a la cámara de secado y extrae la humedad de los granos de quinua secados. En los secadores directos la radiación solar incide en los granos de quinua a secar, el aire se encargará de extraer la humedad de los granos de quinua secado.

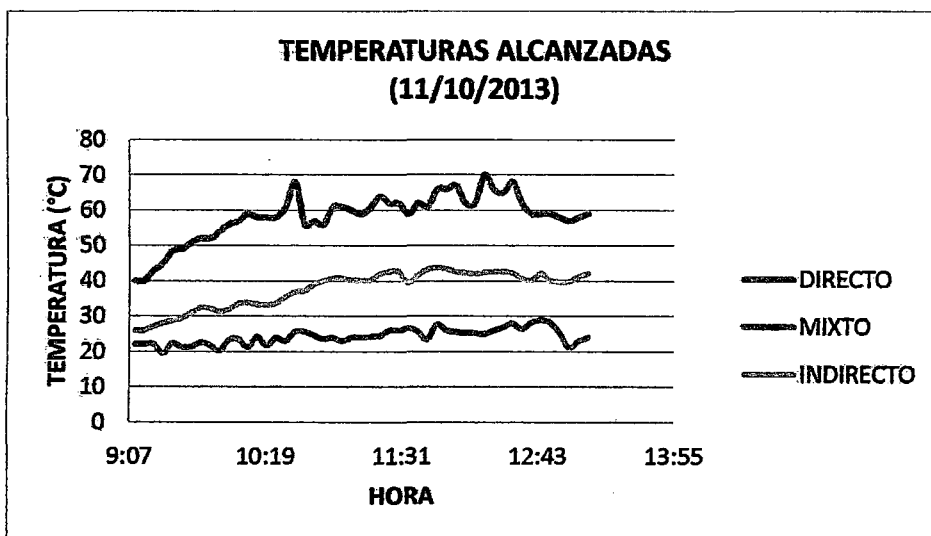


Figura 4.14: Variación de la temperatura en el tiempo (11/10/2013)

La radiación solar y la velocidad del viento son determinantes en el secado solar de los granos de quinua. Esto se debe al diseño del secador mixto, los granos de quinua recibirán calor directamente y a través del colector, a diferencia del secador indirecto que sólo recibe calor a través del colector. De la evaluación de los factores que influyen directamente en la calidad y velocidad del secado son; la velocidad del viento y la radiación solar. De este último dependerá la temperatura alcanzada, mientras mayor sea la radiación solar en el día mayor son las temperaturas alcanzadas en el secador.

4.2. RESULTADOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LA DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE SECADO DE LA QUINUA USANDO UN SECADOR SOLAR MIXTO E INDIRECTO EN AYACUCHO

En la Tabla 4.4 se tienen los resultados del diseño experimental para la optimización del tiempo de secado de la quinua lavada utilizando un secador mixto-indirecto para Ayacucho.

Para la determinación del tiempo de secado de la quinua lavada usando un secador solar mixto e indirecto en Ayacucho, se tuvo en cuenta los diferentes factores como la variedad de quinua(A), tipo de secador (B) y espesor de lecho(C).

El diseño experimental para la determinación del tiempo de secado de la quinua (*Chenopodium quinoa*) lavada, usando un secador solar mixto e indirecto en Ayacucho, es el Diseño factorial 2x2x3 con 7 repeticiones, bajo el Diseño Completo al Azar, para evaluar los atributos de tiempo de secado.

4.2.1 RESULTADOS EN LA DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE SECADO DE LA QUINUA

El tiempo de secado depende de varios factores. Los más importantes son; tipo de producto (mayor contenido de agua, mayor tiempo), tamaño, volumen, cantidad del producto (más grande, mayor tiempo), temperatura del aire (más elevada, menor tiempo), humedad relativa del aire (más elevada, mayor tiempo), velocidad del aire (más elevada, menor tiempo) (Almada, 2005). En las pruebas preliminares se evaluó factores

que influyen directamente en el secado de los granos de quinua (radiación solar y la velocidad de viento). Fue de suma importancia hacerle un control a estos factores para la determinación de los tiempos de secado.

TABLA 4.2: Humedades alcanzadas en el secado de la quinua blanca.

FECHA	Tiempo y Humedad	SECADO MIXTO				SECADO INDIRECTO			
		2mm	4mm	6mm	8mm	2mm	4mm	6mm	8mm
20/10/2013	Tiempo	100	100	140	170	170	180	240	260
	Humedad	11.07%	11.53%	11.84%	11.41%	11.31%	11.09%	11.58%	11.76%
21/10/2013	Tiempo	90	100	140	170	170	180	230	250
	Humedad	11.09%	11.96%	11.29%	11.69%	11.38%	11.46%	11.54%	11.64%
23/10/2013	Tiempo	80	90	130	160	160	170	220	240
	Humedad	11.92%	11.83%	11.41%	10.92%	11.92%	11.48%	11.38%	11.95%
12/11/2013	Tiempo	80	90	130	160	160	180	230	250
	Humedad	11.93%	11.97%	11.26%	11.66%	11.96%	11.61%	11.18%	11.76%
18/11/2013	Tiempo	90	100	140	170	170	180	240	260
	Humedad	11.29%	11.24%	11.35%	11.19%	11.17%	11.51%	11.16%	11.82%
19/11/2013	Tiempo	80	100	130	170	170	180	230	250
	Humedad	11.74%	11.18%	11.77%	11.36%	11.29%	11.38%	11.31%	11.87%
24/11/2013	Tiempo	80	90	130	160	160	170	230	250
	Humedad	11.81%	11.67%	11.90%	11.79%	11.89%	11.85%	11.68%	11.77%

Si la quinua no tiene una humedad <12%, el producto será más propenso a la contaminación por mohos y levaduras, también se correrá el riesgo de germinación de los granos de quinua, si el tiempo de secado es prolongado y la humedad no es la óptima. Se hizo un control de la humedad, toda quinua deberá tener una humedad aceptable, entre 11% y12% de humedad.

En los tablas 4.2 y 4.3 se observó los resultados del tiempo de secado (humedad y tiempo de secado), estos resultados son del secado de la quinua blanca (Blanca de Junín) y roja (Pasankalla)

TABLA N° 4.3: Humedades alcanzadas en el secado de la quinua roja.

FECHA	Tiempo y Humedad	SECADO MIXTO				SECADO INDIRECTO			
		2mm	4mm	6mm	8mm	2mm	4mm	6mm	8mm
20/10/2013	Tiempo	90	100	130	160	170	180	230	240
	Humedad	11.18%	11.07%	11.97%	11.77%	11.51%	11.04%	11.51%	11.96%
21/10/2013	Tiempo	80	90	120	160	160	180	230	240
	Humedad	11.72%	11.87%	11.89%	11.33%	11.97%	11.52%	11.05%	11.79%
23/10/2013	Tiempo	80	100	140	170	170	180	230	250
	Humedad	11.40%	11.48%	11.09%	11.07%	11.44%	11.60%	11.13%	11.67%
12/11/2013	Tiempo	80	100	140	160	170	190	230	250
	Humedad	11.49%	11.20%	11.13%	11.60%	11.64%	11.20%	11.58%	11.53%
18/11/2013	Tiempo	90	100	140	180	170	190	230	250
	Humedad	11.45%	11.35%	11.91%	11.10%	11.95%	11.72%	11.83%	11.76%
19/11/2013	Tiempo	80	90	120	160	160	170	220	240
	Humedad	11.26%	10.96%	11.92%	11.34%	11.94%	11.86%	11.95%	11.97%
24/11/2013	Tiempo	90	100	130	160	170	180	230	250
	Humedad	11.15%	11.04%	11.86%	11.60%	11.45%	10.97%	11.21%	11.64%

El Tabla 4.4 nos muestra los tiempos óptimos para cada variedad de quinua (Blanca de Junín y Pasankalla), tipo de secador (mixto e indirecto) y diferentes espesores de lecho (2, 4, 6 y 8 mm). El tiempo de secado depende de varios factores, Los más importantes son el tipo de producto (mayor contenido de agua, mayor tiempo), tamaño, volumen, cantidad del producto (más grande, mayor tiempo), temperatura del aire (más elevada, menor tiempo), humedad relativa del aire (más elevada, mayor tiempo), velocidad del aire (más elevada, menor tiempo) (Almada, 2005).

Tabla 4.4. Resultado del Diseño Experimental en la determinación del tiempo de secado de la quinua (*Chenopodium quinoa*) utilizando un secador mixto-indirecto para Ayacucho.

VARIEDAD DE QUINUA	TIPO DE SECADOR	ESPESOR DE LECHO (mm)	TIEMPO DE SECADO(min)								EVALUACIÓN SENSORIAL (COLOR)
			DÍAS							PROM.	
BLANCA DE JUNÍN	MIXTO	2	100	90	80	80	90	80	80	85.71	4.53
		4	100	100	90	90	100	100	90	95.71	5.40
		6	140	140	130	130	140	130	130	134.29	6.53
		8	170	170	160	160	170	170	160	165.71	7.60
	INDIRECTO	2	170	170	160	160	170	170	160	165.71	5.73
		4	180	180	170	180	180	180	170	177.14	6.60
		6	240	230	220	230	240	230	230	231.43	7.73
		8	260	250	240	250	260	250	250	251.43	8.20
PASANKAL LA (ROJA)	MIXTO	2	90	80	80	80	90	80	90	84.29	6.33
		4	100	90	100	100	100	90	100	97.14	6.20
		6	130	120	140	140	140	120	130	131.43	6.53
		8	160	160	170	160	180	160	160	164.29	6.40
	INDIRECTO	2	170	160	170	170	170	160	170	167.14	6.27
		4	180	180	180	190	190	170	180	181.43	6.33
		6	230	230	230	230	230	220	230	228.57	6.27
		8	240	240	250	250	250	240	250	245.71	6.47

4.2.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE VARIANZA PARA EL TIEMPO DE SECADO DE LOS GRANOS DE QUINUA.

El análisis estadístico se realizó, según los tratamientos presentados en el Flujograma (figura N° 3.1) y las variables independientes y dependientes en la tabla N° 3.3; asimismo, se evaluó las variables independientes como: la variedad de quinua(A), tipo de secado (B) y espesor de lecho(C), a partir de estos datos se obtuvo las respuestas para evaluar los resultados (Tabla 4.4).

Los resultados obtenidos del tiempo secado de la quinua se observan en la tabla 4.4, permite la determinación del tiempo de secado de la quinua, para lo cual se realizó el ANVA al 5% de significancia para determinar el mejor tiempo de secado.

TABLA N° 4.5: Análisis de varianza (ANVA) tiempo de secado de la quinua mediante experimento factorial en diseño completo al azar.

ORIGEN	G.L	S.C	C.M	Fc	Ft	Sig.
Variedad de quinua	1	22.321	22.321	0.591	3.944	N.S.
Tipo de secador	1	208293.75	208293.75	5510.764	3.944	*
Espesor de lecho	3	119816.964	39938.988	1056.654	2.704	*
Variedad* Secado	1	0.893	0.893	0.024	3.944	N.S.
Variedad*Espesor	3	181.250	60.417	1.598	2.704	N.S.
Secado*Espesor	3	1124.107	374.702	9.913	2.704	*
Variedad*Secado*Espesor	3	59.821	19.940	0.528	2.704	N.S.
Error	96	3628.571	37.798			
Total	111	333127.68				

$R^2=0.987$ $CV=3.773\%$

El coeficiente de variabilidad (grado de homogeneidad de los resultados), en la determinación del tiempo de secado de la quinua, es bueno ($CV<10\%$).

En la tabla 4.6, en las variedades de quinua (Blanca de Junín y Pasankalla) y tipos de secador (mixto e indirecto), muestran que los tiempos de secado obtenidos se incrementan ascendentemente a mayor espesor de lecho.

En el secado de la quinua blanca de Junín y Pasankalla (secador mixto e indirecto), el tiempo de secado a 2 mm será menor al resto de espesores (4, 6 y 8 milímetros). Los tiempos óptimos de estos espesores se incrementaron ascendentemente, tal como se muestra en la tabla 4.6.

TABLA 4.6: TIEMPOS DE SECADO (minutos)

VARIEDAD DE QUINUA	SECADOR MIXTO				SECADOR INDIRECTO			
	2mm	4mm	6mm	8mm	2mm	4mm	6mm	8mm
Blanca de Junín	85,71	95,71	134,29	165,71	165,71	177,14	231,43	251,43
Pasankalla (roja)	84,29	97,14	131,43	164,29	167,14	181,43	228,57	245,71

4.2.2.1 VARIEDAD DE QUINUA

De acuerdo a la tabla 4.5, no existe diferencia significativa entre las variedades de quinua que se usaron en la presente investigación. En la tabla 4.7 los tiempos de secado óptimos obtenidos entre las diferentes variedades de quinua (Blanca de Junín y Pasankalla) no presentan diferencias significativas.

TABLA N° 4.7: TIEMPOS DE SECADO (EN FUNCIÓN DE LAS VARIEDADES DE QUINUA)

SECADOR	ESPESOR DE LECHO (mm)	TIEMPO (minutos)	
		BLANCA DE JUNIN	PASANKALLA(ROJA)
MIXTO	2	85,71	84,29
	4	95,71	97,14
	6	134,29	131,43
	8	165,71	164,29
INDIRECTO	2	165,71	167,14
	4	177,14	181,43
	6	231,43	228,57
	8	251,43	245,71

4.2.2.2 TIPO DE SECADOR

De acuerdo a la tabla 4.5, existe diferencia significativa entre las variedades de quinua que se utilizaron. En la tabla 4.8 los tiempos de secado obtenidos entre los diferentes tipos de secador (Mixto e Indirecto) son significativamente diferentes.

TABLA N° 4.8: TIEMPOS DE SECADO (EN FUNCIÓN DE LOS TIPOS DE SECADOR)

VARIEDAD DE QUINUA	ESPESOR DE LECHO (mm)	TIEMPO (MINUTOS)	
		SECADOR MIXTO	SECADOR INDIRECTO
BLANCA DE JUNIN	2	85,71	165,71
	4	95,71	177,14
	6	134,29	231,43
	8	165,71	251,43
PASANKALLA (ROJA)	2	84,29	167,14
	4	97,14	181,43
	6	131,43	228,57
	8	164,29	245,71

Román (2008) manifiesta; que en el secador indirecto el aire es calentado en el colector y la radiación no incide sobre el producto colocado en la cámara de secado, este secador es esencialmente un secador convectivo convencional sobre el cual el sol actúa como fuente energética. En los secadores solares mixtos el aire es calentado en el colector y la radiación solar es absorbida por el propio producto, resultando más efectivo el aprovechamiento de la energía para producir la evaporación del agua. Los tiempos óptimos de secado solar en el secado mixto es significativamente superior (menor tiempo) a los del secado indirecto.

4.2.2.3 ESPESOR DE LECHO

De acuerdo a la tabla 4.5, existe diferencia significativa entre los espesores de lecho que se usaron en la presente investigación. En la tabla 4.9 los tiempos de secado obtenidos entre los diferentes tipos de secador (mixto e indirecto) son significativamente diferentes.

Almada (2005) nos menciona; que el tiempo de secado depende de varios factores. Los más importantes son el tipo de producto (mayor contenido de agua, mayor tiempo), tamaño, volumen, cantidad del producto (más grande, mayor tiempo), temperatura del aire (más elevada, menor tiempo), humedad relativa del aire (más elevada, mayor tiempo), velocidad del aire (más elevada, menor tiempo). Mientras mayor sea el espesor de lecho, mayor será la cantidad de quinua a secar y mayor será el tiempo de secado.

TABLA N° 4.9: TIEMPOS OPTIMOS DE SECADO (EN FUNCIÓN DE LOS ESPESORES DE LECHO)

VARIEDAD DE QUINUA	TIPO DE SECADOR	TIEMPO (minutos)			
		2mm	4mm	6mm	8mm
BLANCA DE JUNIN	MIXTO	85,71	95,71	134,29	165,71
	INDIRECTO	165,71	177,14	231,43	251,43
PASANKALLA (ROJA)	MIXTO	84,29	97,14	131,43	164,29
	INDIRECTO	167,14	181,43	228,57	245,71

4.2.2.4 INTERACCIÓN TIPO DE SECADOR Y ESPESOR DE LECHO

El análisis de varianza que muestra la tabla 4.5 a través del ANVA, indica que hay diferencia entre los tratamientos a un nivel de significancia del 0,05, para establecer diferencias y semejanzas se realizó la prueba de Tukey, cuyos resultados se expresaron en tiempos de secado de la quinua, efecto de interacción del **tipo de secador x espesor de lecho**.

En la tabla 4.6 se observa que en el secador mixto, el tiempo de secado, a un espesor de lecho 2 mm es menor a los espesores de lecho 4, 6, 8 mm (secador mixto) y 2, 4, 6 y 8 mm (secador indirecto). Los tiempos de secado óptimos se incrementaron de acuerdo en el siguiente orden; 2, 4, 6, 8 mm (secador mixto), 2, 4, 6 y 8 mm (secador indirecto), tal como se muestra en la Tabla 4.6.

La tabla 4.5 nos muestra que, existen diferencias significativas entre los tratamientos para el tiempo de secado de la quinua (**interacción del tipo de secador x espesor de lecho**), por lo tanto se realizó la prueba de Tukey donde se tiene la amplitud límite significancia de 6,096.

De esta prueba se observó que el tiempo de secado a 8 mm de espesor de lecho (en el secador mixto), no presenta diferencia significativa con el tiempo de secado a 2 mm de espesor de lecho (en el secador indirecto).

TABLA 4.10: Comparación Tipo de secado/ Espesor

SECADOR	ESPESOR	MEDIA	ERROR TIP.	Intervalo de confianza 95%	
				Límite inferior	Límite superior
MIXTO	2mm	85,00	1,643	81,74	88,26
	4mm	96,43	1,643	93,17	99,69
	6mm	132,86	1,643	129,60	136,12
	8mm	165,00	1,643	161,74	168,26
INDIRECTO	2mm	166,43	1,643	163,17	169,69
	4mm	179,29	1,643	176,02	182,55
	6mm	230,00	1,643	226,74	233,26
	8mm	248,57	1,643	245,31	251,83

Mientras mayor sea el espesor de lecho, mayor será la cantidad de quinua a secar y mayor será el tiempo de secado. En el secador mixto e indirecto, el espesor de lecho de 8 mm seca mayor cantidad de quinua y el de 2 mm seca menor cantidad de quinua. Las cantidades de quinua secadas están en relación a sus espesores de lecho (8, 6, 4 y 2 mm).

El mejor tiempo de secado es de 165 minutos, a un espesor de lecho de 8 mm, secador mixto y ambas variedades de quinua (Blanca de Junín y Pasankalla), debido a que es significativamente superior al resto de tiempos óptimos de secado (superior en cantidad de quinua secada y mejor tiempo de secado).

4.2.3 ANÁLISIS SENSORIAL DE VARIANZA PARA EL COLOR DE LOS GRANOS DE QUINUA SECADOS.

4.2.3.1 PARA LOS GRANOS DE QUINUA DE VARIEDAD BLANCA DE JUNÍN.

Los resultados obtenidos del análisis sensorial se muestran en la Tabla 4.4, permite la determinación del color de los granos de quinua secada, para lo cual se realizará el análisis de varianza (ANVA) al 0.05.

En la Tabla N°4.11 se muestra el análisis estadístico, cuya ANVA muestra que hubo diferencia significativa, entre los tratamientos a un nivel de significancia del 0,05, por lo que se procedió a realizar la prueba de Duncan, para determinar el mejor tratamiento.

TABLA N° 4.11: Análisis de varianza (ANVA) tiempo de secado de la quinua blanca (Blanca de Junín) mediante experimento factorial en diseño completo al azar.

ORIGEN DE LA VARIACIONES	G.L.	S.C	C.M	F.c	Ft α =0.05	SIG.
PANELISTA	14	5.42	0.39	0.17	1.775	N.S
TRATAMIENTOS	7	169.26	24.18	23.96	2.115	*
ERROR	98	21.12	0.22			
TOTAL	119	195.79				

CV= 7.096%

En coeficiente de variabilidad (grado de homogeneidad de los resultados) del color de la quinua secada es buena (CV<10%).

La amplitud para 8 medias es 0,391, la amplitud para 7 medias es 0,386, la amplitud para 6 medias es 0,381, la amplitud para 5 medias es 0,374, la amplitud para 4 medias es 0,366, la amplitud para 3 medias es 0,354 y la amplitud para 2 medias es 0,336. Las diferencias significativas entre las medias se presentaron utilizando letras. Las medias seguidas de diferentes letras, fueron significativamente diferentes al nivel de probabilidad de 5%.

La quinua de variedad pasankalla crece en el altiplano, estas son resistentes a la helada y radiación extrema. A diferencia de la blanca de Junín que crece en valles interandinos, y son más sensibles a la helada y a la radiación (León, 2003). En el secado de la quinua de variedad Blanca de Junín (en el secador mixto e indirecto), su color se altera mientras mayor sea el tiempo de secado. Mientras en el secado de la quinua de variedad Pasankalla (en el secador mixto e indirecto) no altera significativamente su color, por ser una variedad de quinua (del altiplano) adaptada para soportar radiaciones elevadas. La quinua de variedad blanca de Junín sufrió mayor alteración de su color, en comparación con la variedad de quinua Pasankalla, por ser una variedad sensible a la radiación solar.

Tomando en cuenta que mientras mayor tiempo se encuentren los granos de quinua expuestos a la radiación solar, mayor será la pérdida de su color característico. En el secado indirecto los granos de quinua no se encuentran expuestos a la radiación, a diferencia del secado mixto. El secador indirecto, la quinua secada, sufrió menor alteración de su color, en comparación con la quinua secada en el secador mixto.

TABLA 4.12: Prueba Duncan para el atributo de color, quinua blanca (Blanca de Junín)

ESPEORES DE LECHO (mm)	SECADOR	N	MEDIAS DE LOS TRATAMIENTOS
8	INDIRECTO	15	8.20a
6	INDIRECTO	15	7.73b
8	MIXTO	15	7.60b
4	INDIRECTO	15	6.60c
6	MIXTO	15	6.53c
2	INDIRECTO	15	5.73d
4	MIXTO	15	5.40d
2	MIXTO	15	4.53e

De la Tabla 4.12 podemos afirmar que el espesor de lecho 8l fue significativamente más aceptada que las otras muestras, los espesores de lecho 6l y 8M fueron igualmente

aceptadas, y estos a su vez fueron significativamente más aceptadas que los espesores 4l, 6M, 2l, 4M y 2M, los espesores de lecho 4l y 6M fueron igualmente aceptadas y estos a su vez fueron significativamente más aceptadas que los espesores 2l, 4M y 2M, los espesores de lecho 2l y 4M fueron igualmente aceptadas y estos a su vez fueron significativamente más aceptadas que el espesor de lecho 2M.

En el secado de la quinua de variedad Blanca de Junín (secador mixto e indirecto), el color del espesor de 8 milímetros (secador indirecto) es significativamente más aceptable que el resto de tratamiento, pero su tiempo de secado es muy prolongado. En consecuencia elegiremos el mejor tratamiento (esta incluye mejor tiempo de secado y mejor aceptabilidad del color) que fue de espesor de lecho 8 milímetros (secador mixto), debido a que seca mayor cantidad de quinua, en un tiempo aceptable y mantiene un color significativamente aceptable.

4.2.3.2 PARA LOS GRANOS DE QUINUA DE VARIEDAD PASANKALLA.

En la Tabla N° 4.13 se muestra el análisis estadístico, cuya ANVA muestra que no hubo diferencia significativa entre los tratamientos. Esto se debe a que la quinua de variedad Pasankalla (variedad del altiplano) es más resistente a la radiación solar.

TABLA N° 4.13: Análisis de varianza (ANVA) tiempo de secado de la quinua roja (Pasankalla) mediante experimento factorial en diseño completo al azar.

ORIGEN DE LA VARIACIONES	G.L.	S.C	C.M	F.c	F α =0.05	SIG.
PANELISTA	14	27.55	1.97	1.43	1.775	N.S
TRATAMIENTOS	7	1.30	0.19	0	2.115	N.S
ERROR	98	52.45	0.54			
TOTAL	119	81.30				

CV= 11.521%

Los granos de quinua de variedad Pasankalla no sufrirán diferencias significativas en la aceptabilidad de su color.

4.2.4 RESULTADOS DE LOS CONTROLES EN LA DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE SECADO SOLAR DE LA QUINUA.

Los resultados de los controles en la determinación del tiempo de secado de los granos de quinoa blanca y roja, los datos de las velocidades de viento, radiación solar y temperaturas alcanzadas en el secador mixto e indirecto, a diferentes periodos de tiempo, se muestran en las Tablas N° 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 y 20 del ANEXOS I. Los controles en la quinoa blanca (Blanca de Junín), se registraron los días 20, 21, 23 de octubre, 12, 18, 19 y 24 de noviembre del 2013. Los controles en la quinoa roja (Pasankalla) se registraron los días 05, 06, 08, 09, 10, 20 y 23 de noviembre del 2013. Durante 4 horas de control, la hora de inicio 9:00 am.

TABLA 4.14: RESULTADO DE LOS CONTROLES EN LA DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE SECADO SOLAR DE LA QUINUA.

VARIEDAD DE QUINUA	FECHA DE LOS TRATAMIENTOS	CONTROLES EN LA DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE SECADO				
		T° MIXTO (°C)	T° INDIRECTO (°C)	T° DIRECTA (°C)	RADIACIÓN (W/m²)	VIENTO (m/s)
BLANCA DE JUNÍN	20/10/2013	64.9	46.6	26.8	784.4	0.3
	21/10/2013	59.1	46.6	26.1	764.0	0.4
	23/10/2013	59.9	44.8	25.7	752.0	0.5
	12/11/2013	62.1	45.1	25.8	749.6	0.3
	18/11/2013	66.6	48.4	27.2	741.2	0.3
	19/11/2013	62.9	46.6	25.9	769.6	0.4
	24/11/2013	63.6	47.1	26.4	772.0	0.3
PASANKALLA (ROJA)	05/11/2013	63.7	47.8	26.6	761.6	0.4
	06/11/2013	63.0	47.2	27.2	772.4	0.3
	08/11/2013	61.5	44.3	25.4	724.0	0.4
	09/11/2013	60.4	44.7	24.6	747.6	0.3
	10/11/2013	64.6	46.7	27.2	762.8	0.3
	20/11/2013	65.0	47.4	25.3	772.8	0.3
	23/11/2013	65.0	47.8	25.6	757.2	0.3

En la Tabla N° 4.14 se puede observar los resultados de los controles (temperaturas media, radiación media y velocidad de viento media) en la determinación del tiempo de secado solar de la quinua (Blanca de Junín y Pasankalla).

4.2.4.1 RADIACIÓN SOLAR

En casi todo el territorio, en particular en los andes, la radiación solar promedio mensual es durante todo el año alta. En la mayor parte del Perú, el promedio mensual de la energía solar incidente sobre la superficie horizontal es mayor de 500w/m² por día (SENAMHI, 2011). En la Figura 2.4 se puede apreciar, la energía solar incidente diaria en el Departamento de Ayacucho es de 650w/m² a 700w/m² (SENAMHI, 2011).

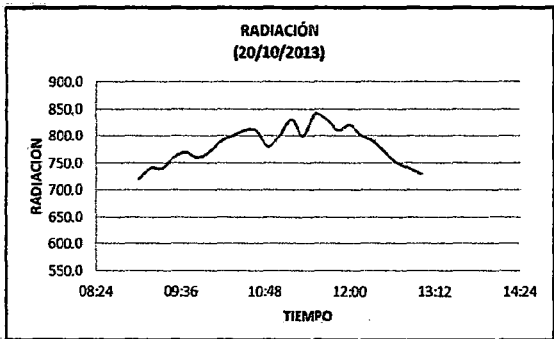


Figura 4.15: Curva de radiación (20/10/2013)

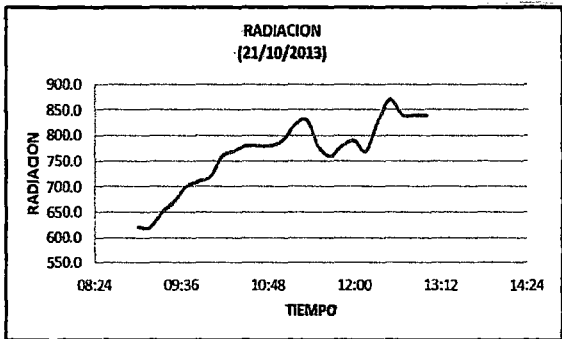


Figura 4.16: Curva de radiación (21/10/2013)

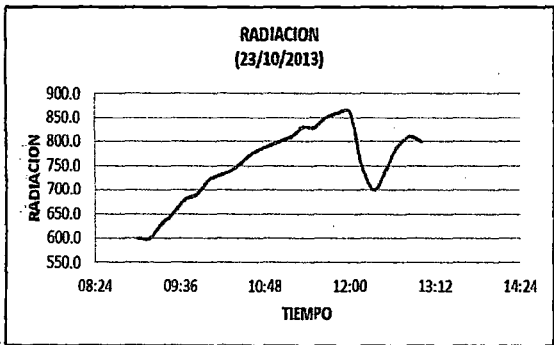


Figura 4.17: Curva de radiación (23/10/2013)

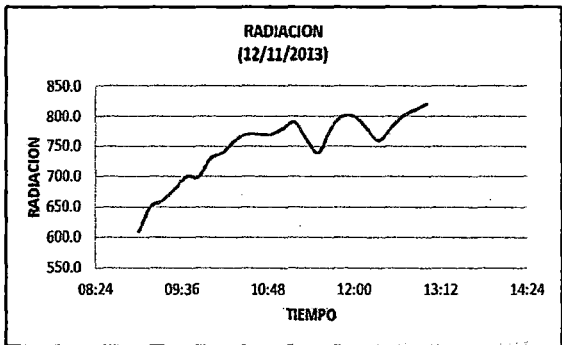


Figura 4.18: Curva de radiación (12/11/2013)

Los dos elementos básicos de un secador solar son: el colector, donde la radiación calienta el aire y la cámara de secado, donde el producto es deshidratado por el aire que pasa. (Almanza, 1994). Entonces a mayor índice de radiación solar, el aire alcanzará temperaturas más elevadas, y el secado de los granos de quinua será más rápido.

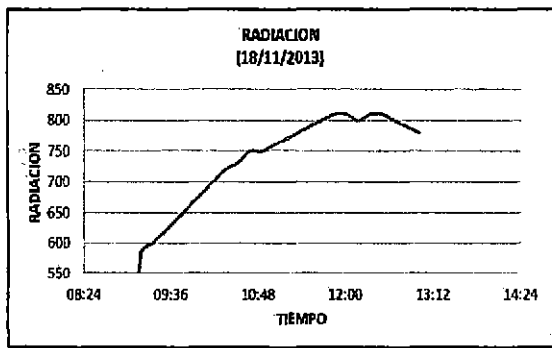


Figura 4.19: Curva de radiación (18/11/2013)

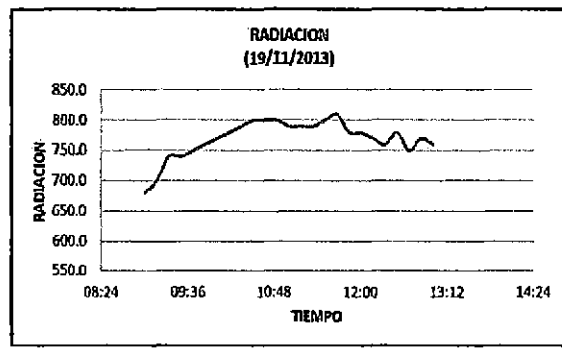


Figura 4.20: Curva de radiación (19/11/2013)

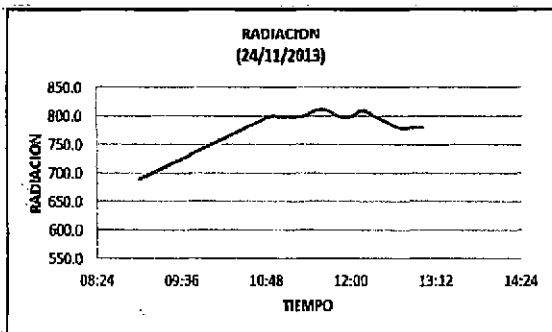


Figura 4.21: Curva de radiación (24/11/2013)

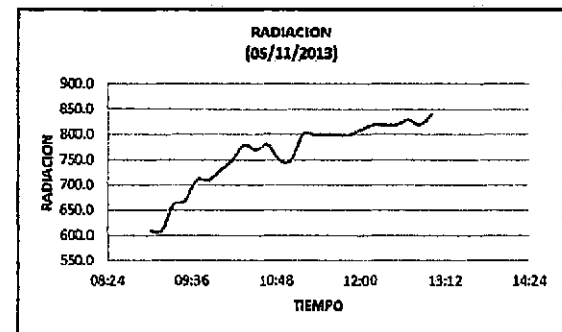


Figura 4.22: Curva de radiación (05/11/2013)

Las radiaciones medias ,en el secado solar de la quinua blanca (Blanca de Junín), alcanzadas el 20, 21, 23 de octubre, 12, 18, 19 y 24 de noviembre del 2013 son; 784 w/m², 764 w/m², 752 w/m², 749 w/m², 741 w/m², 769 w/m² y 772 w/m² respectivamente. Se puede apreciar que las radiaciones medias alcanzadas en los días de evaluación son similares a los mencionados por SENAMHI (2011).

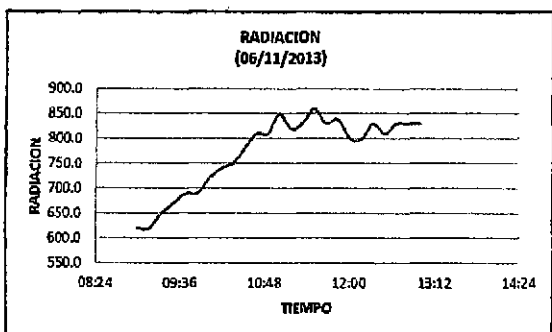


Figura 4.23: Curva de radiación (06/11/2013)

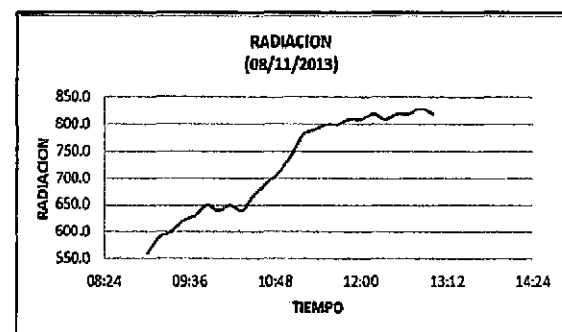


Figura 4.24: Curva de radiación (08/11/2013)

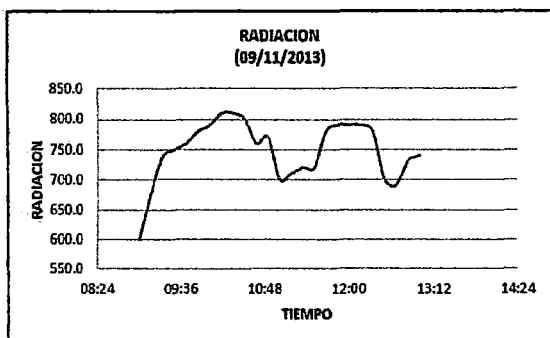


Figura 4.25: Curva de radiación (09/11/2013)

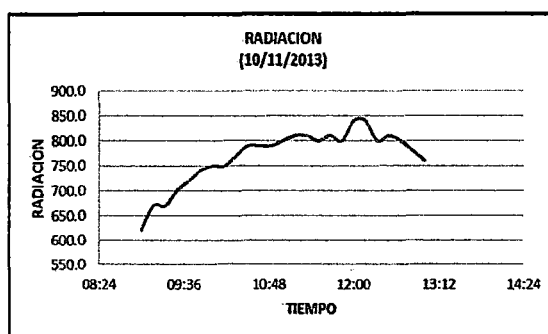


Figura 4.26: Curva de radiación (10/11/2013)

Las radiaciones medias, en el secado solar de la quinua roja (Pasankalla), alcanzadas el 05, 06, 08, 09, 10, 20 y 23 de noviembre del 2013 son; 757 w/m^2 , 772 w/m^2 , 768 w/m^2 , 747 w/m^2 , 724 w/m^2 , 772 w/m^2 y 761 w/m^2 respectivamente. Se puede apreciar que las radiaciones medias alcanzadas en los días de evaluación son similares a los mencionados por SENAMHI (2011).

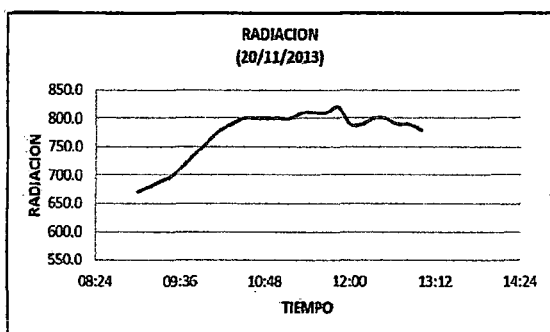


Figura 4.27: Curva de radiación (20/11/2013)

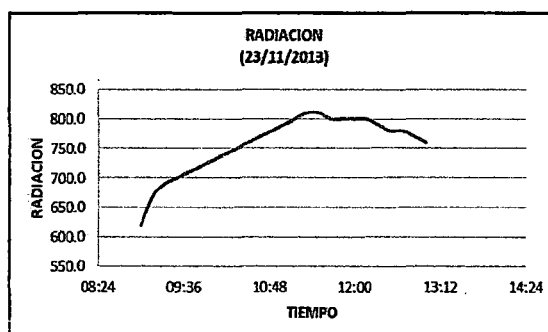


Figura 4.28: Curva de radiación (23/11/2013)

En las figuras, del 4.15 al 4.28, podemos observar el comportamiento de la radiación solar, se ve que la radiación decae debido a la presencia de nubosidades, estos no permiten el paso de los rayos de sol. Asimismo entre las 11:00 pm y 1:00 pm se alcanzaron los máximos índices de radiación. A partir de la 1:00 pm la incidencia solar descende, para mayor detalle revisar los Anexos N° 01.

4.2.4.2 VELOCIDAD DE VIENTO

Almada (2005) nos dice; uno de los factores claves para un buen secado es que el movimiento de aire sea constante. En las figuras, del 4.29 al 4.42, las velocidades de viento son constantes y son tendencia variable en el tiempo.

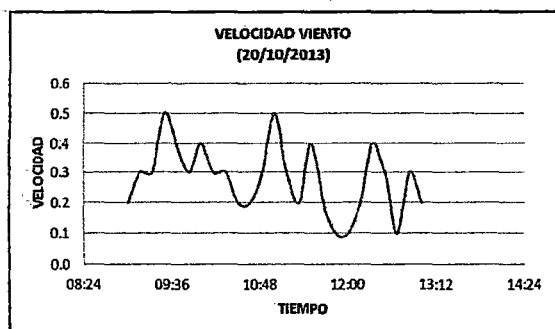


Figura 4.29: Velocidad de viento (20/10/2013)

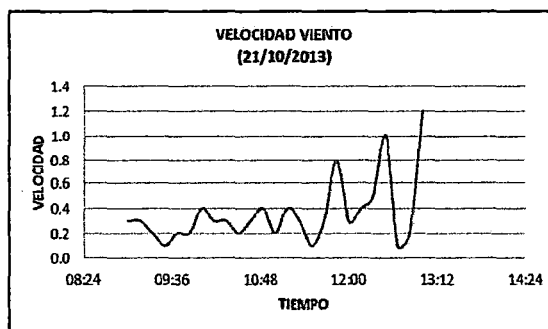


Figura 4.30: Velocidad de viento (21/10/2013)

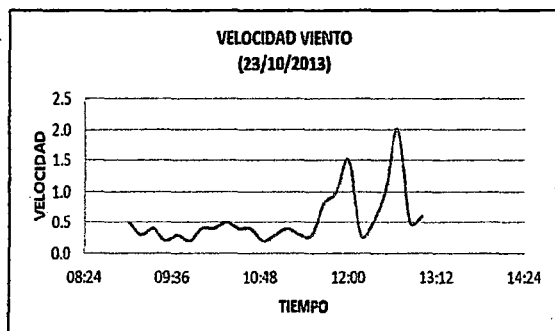


Figura 4.31: Velocidad de viento (23/10/2013)

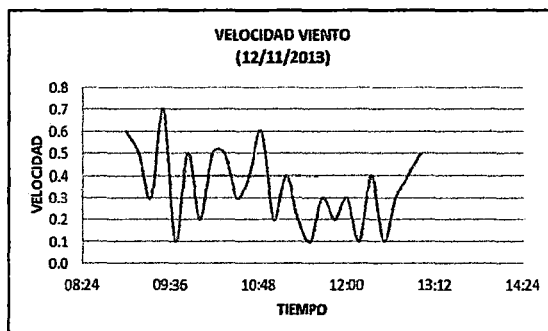


Figura 4.32: Velocidad de viento (12/11/2013)

Para equipos pequeños o medianos se pueden lograr velocidades de aire de 0.4 a 1 m/s al interior de la cámara (Almanza, 1994).

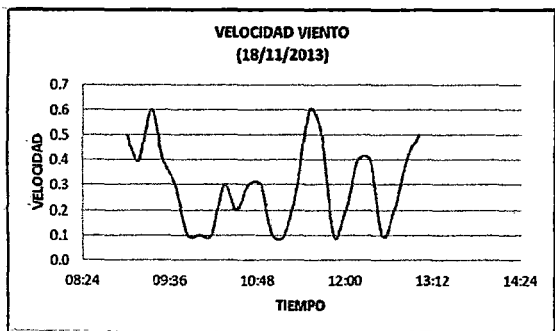


Figura 4.33: Velocidad de viento (18/11/2013)

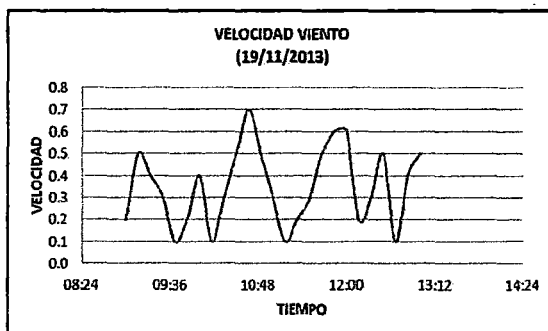


Figura 4.34: Velocidad de viento (19/11/2013)

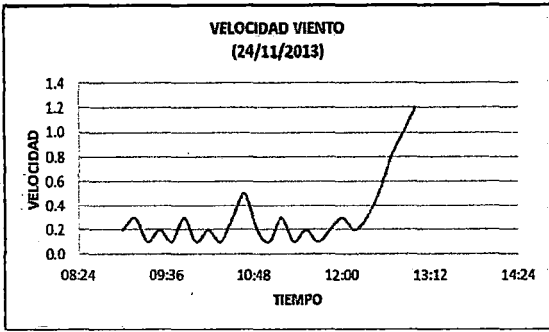


Figura 4.35: Velocidad de viento (24/11/2013)

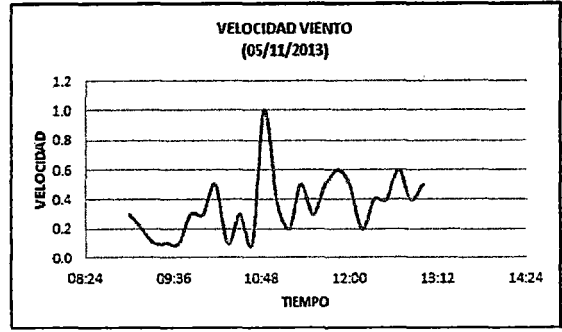


Figura 4.36: Velocidad de viento (05/11/2013)

Las velocidades medias alcanzadas, en el secado de la quinua blanca (Blanca de Junín), los días 20, 21, 23 de octubre y 12, 18, 19, 24 de noviembre del 2013 son; 0,3 m/s, 0,4 m/s, 0,3 m/s , 0,3 m/s, 0,5 m/s, 0,4 m/s y 0,3 m/s respectivamente. Las velocidades medias están dentro del rango mencionado por Almanza (1994).

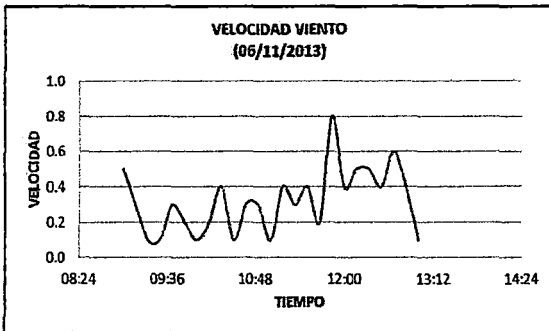


Figura 4.37: Velocidad de viento (06/11/2013)

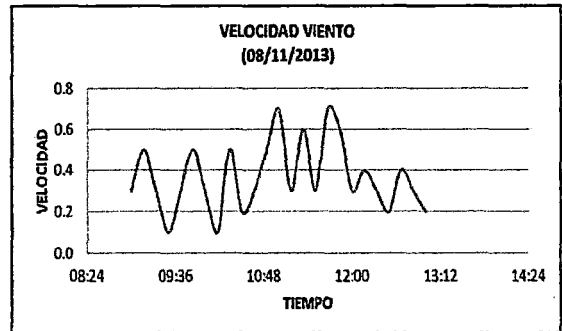


Figura 4.38: Velocidad de viento (08/11/2013)

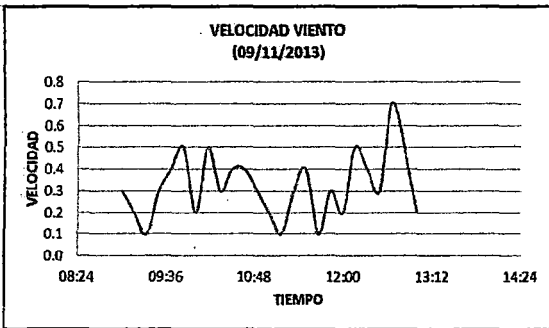


Figura 4.39: Velocidad de viento (09/11/2013)

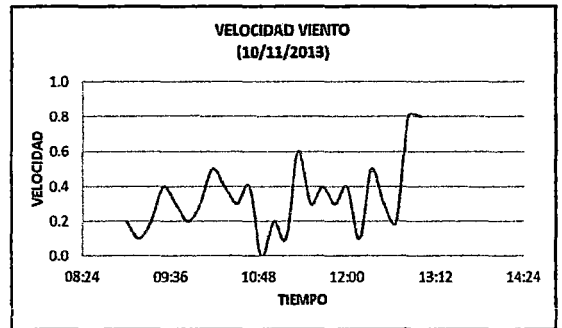


Figura 4.40: Velocidad de viento (10/11/2013)

Las velocidades medias alcanzadas, en el secado de la quinua roja (Pasankalla), los días 05, 06, 08, 09, 10, 20 y 23 de noviembre del 2013 son; 0,3 m/s, 0,3 m/s, 0,3 m/s , 0,3 m/s,

0,4 m/s, 0,3 m/s y 0,4 m/s respectivamente. Las velocidades medias están dentro del rango mencionado por Almanza (1994).

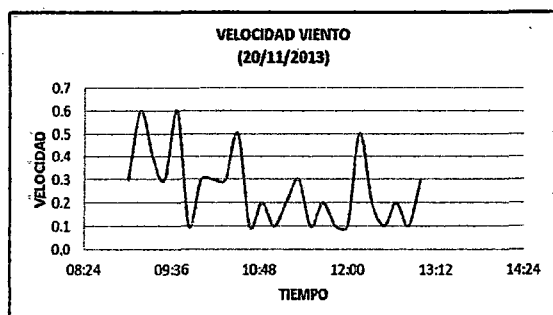


Figura 4.41: Velocidad de viento (20/11/2013)

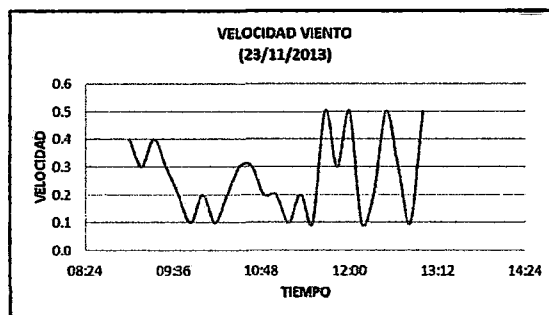


Figura 4.42: Velocidad de viento (23/11/2013)

El aire en contacto con el producto es encargado de extraer su humedad. La temperatura inicial de la corriente de aire desciende conforme avanza en el secador (Moreno, 2011). A mayor velocidad de viento, se extrae mayor cantidad de humedad de la quinua a secar, para mayor detalle observar las tablas del Anexo N° 01.

4.2.4.3 TEMPERATURA

Almada (2005) nos dice; los factores para un buen secado son: movimiento constante del aire, aire con bajo contenido de humedad, aire caliente a una temperatura de 40°C a 70°C.

Las temperaturas medias alcanzadas en el secado solar de la quinua blanca (Blanca de Junín). El 20 de octubre del 2013 son: 63,6°C en el secador solar mixto, 46,6°C en el secador indirecto y 26,8°C del ambiente. El 21 de octubre del 2013 las temperaturas medias alcanzadas son: 62,9°C en el secador mixto, 46,6°C en el secador indirecto y 26,1°C del ambiente. El 23 de octubre del 2013 las temperaturas medias alcanzadas son: 66,6°C en el secador mixto, 44,8°C en el secador indirecto y 25,7°C del ambiente. El 12 de noviembre del 2013 las temperaturas medias alcanzadas son: 62,1°C en el secador mixto, 45,1°C en el secador indirecto y 25,8°C del ambiente. El 18 de noviembre del 2013 las temperaturas medias alcanzadas son: 59,9°C en el secador mixto, 48,4°C en el secador indirecto y 27,2°C del ambiente. El 19 de noviembre del 2013 las temperaturas medias alcanzadas son: 59,1°C en el secador mixto, 46,6°C en el secador indirecto y 25,9°C del ambiente. El 24 de noviembre del 2013 las temperaturas medias alcanzadas son: 64,9°C

en el secador mixto, 47,1°C en el secador indirecto y 26,4°C del ambiente. Se puede apreciar que las temperaturas medias alcanzadas en el secador mixto están dentro del rango mencionado, la eficiencia en el secador mixto es mejor.

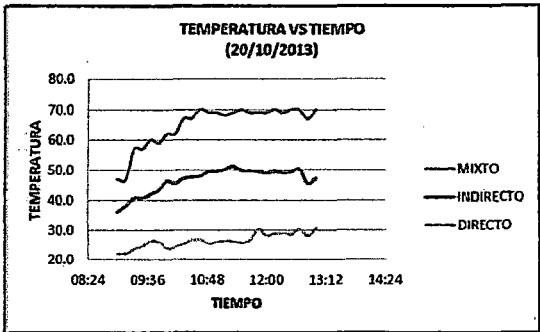


Figura 4.43: Temperaturas (20/10/2013)

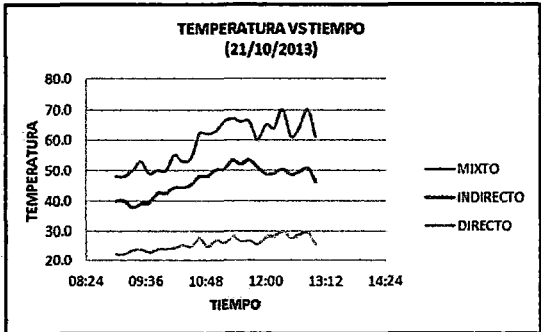


Figura 4.44: Temperaturas (21/10/2013)

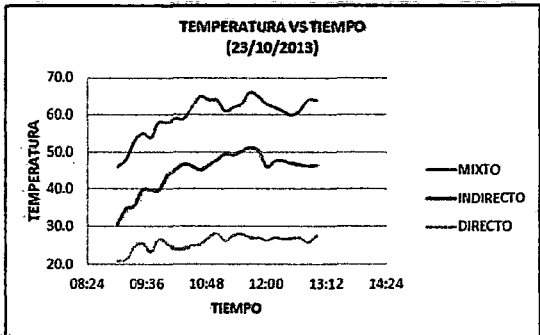


Figura 4.45: Temperaturas (23/10/2013)

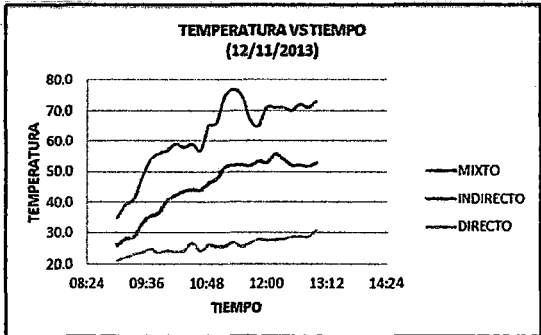


Figura 4.46: Temperaturas (12/11/2013)

Las temperaturas medias alcanzadas en el secado solar de la quinua roja (Pasankalla). El 05 de octubre del 2013 son: 63,7°C en el secador solar mixto, 47,8°C en el secador indirecto y 26,6°C del ambiente. El 06 de noviembre del 2013 las temperaturas medias alcanzadas son: 63,0°C en el secador mixto, 47,2°C en el secador indirecto y 27,2°C del ambiente. El 08 de noviembre del 2013 las temperaturas medias alcanzadas son: 61,5°C en el secador mixto, 44.3°C en el secador indirecto y 25,4°C del ambiente. El 09 de noviembre del 2013 las temperaturas medias alcanzadas son: 60,4°C en el secador mixto, 44,7°C en el secador indirecto y 24,6°C del ambiente. El 10 de noviembre del 2013 las temperaturas medias alcanzadas son: 64,6°C en el secador mixto, 46,7°C en el secador indirecto y 27,2°C del ambiente. El 20 de noviembre del 2013 las temperaturas medias alcanzadas son: 65,0°C en el secador mixto, 47,4°C en el secador indirecto y 25,3°C del

ambiente. El 23 de noviembre del 2013 las temperaturas medias alcanzadas son: 65°C en el secador mixto, 47,8°C en el secador indirecto y 25,6°C del ambiente. Se puede apreciar que las temperaturas medias alcanzadas en el secador mixto están dentro del rango mencionado, la eficiencia en el secador mixto es mejor.

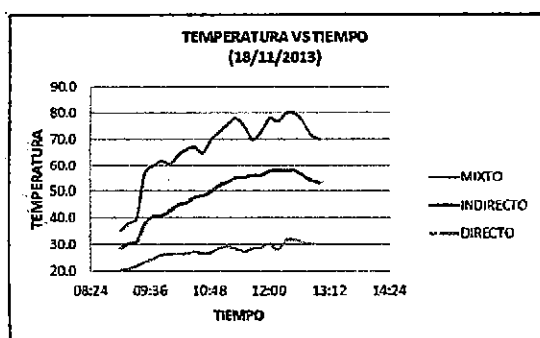


Figura 4.47: Temperaturas (18/11/2013)

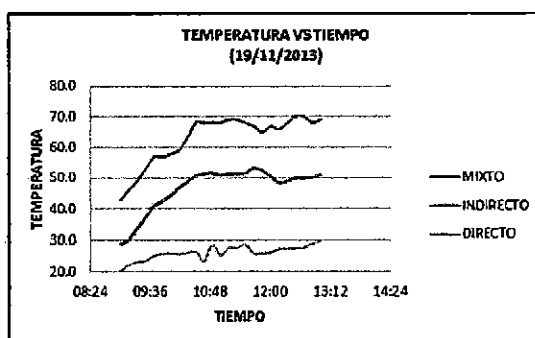


Figura 4.48: Temperaturas (19/11/2013)

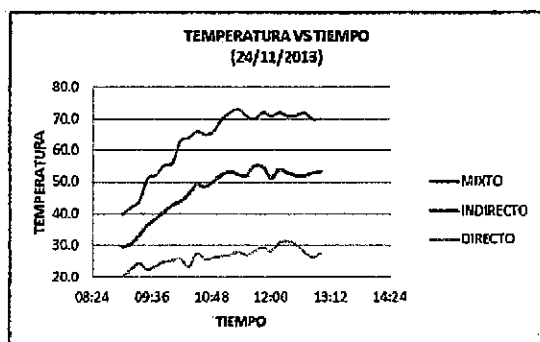


Figura 4.49: Temperaturas (24/11/2013)

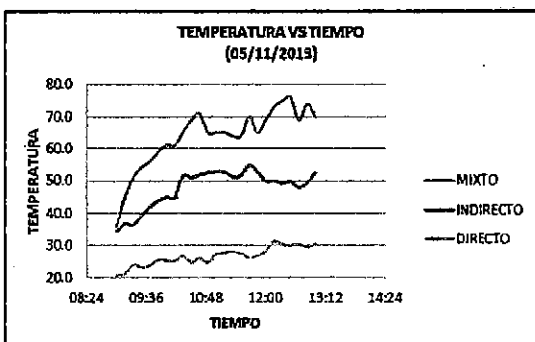


Figura 4.50: Temperaturas (05/11/2013)

Almanza (1994) nos menciona; que dos elementos básicos de un secador solar son: el colector, donde la radiación calienta el aire y la cámara de secado, donde el producto es deshidratado por el aire que pasa. En los secadores indirectos, la radiación solar calienta el aire en el colector, este pasa a la cámara de secado y extrae la humedad de los granos de quinua secados. En los secadores directos la radiación solar incide en los granos de quinua a secar, el aire se encargará de extraer la humedad de los granos de quinua secado.

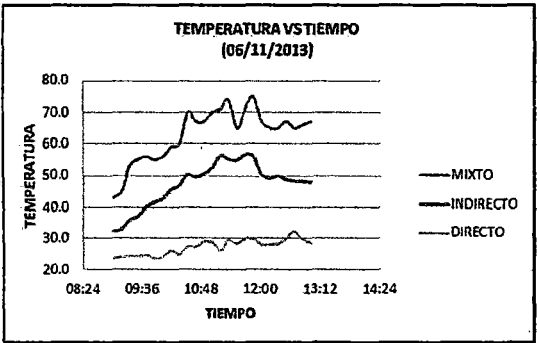


Figura 4.51: Temperaturas (06/11/2013)

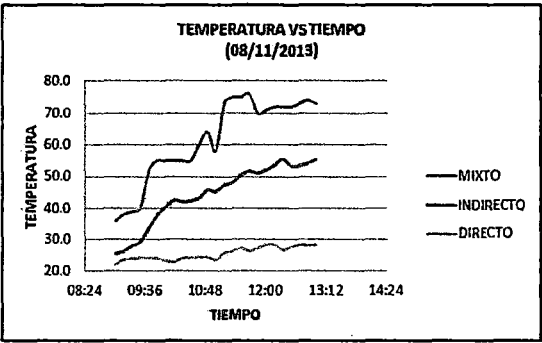


Figura 4.52: Temperaturas (08/11/2013)

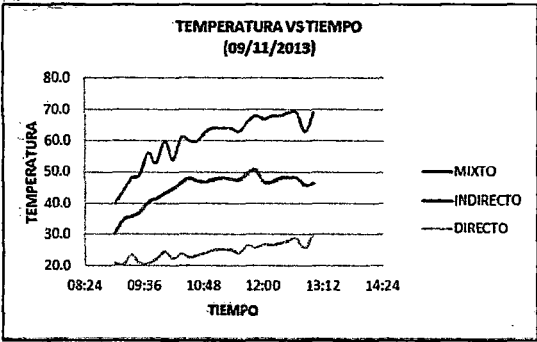


Figura 4.53: Temperaturas (09/11/2013)

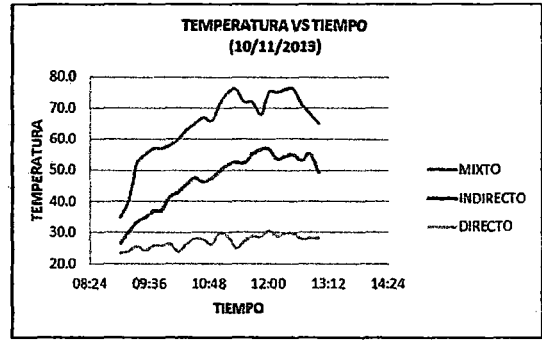


Figura 4.54: Temperaturas (10/11/2013)

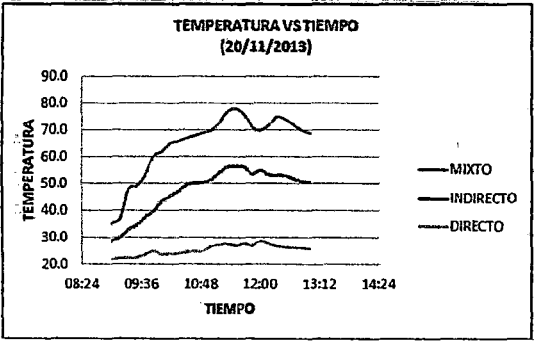


Figura 4.55: Temperaturas (20/11/2013)

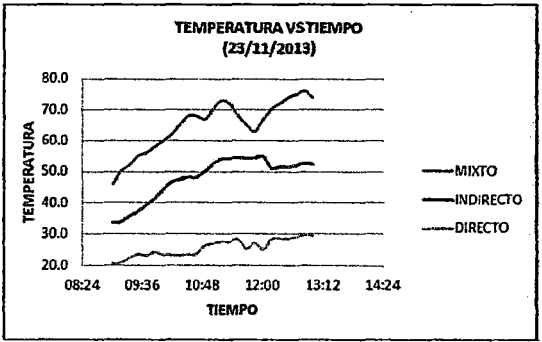


Figura 4.56: Temperaturas (23/11/2013)

El tiempo de secado depende de varios factores, uno de ellos es, la temperatura del aire, donde a mayor temperatura del aire menor tiempo de secado. (Almada, 2005). Mientras mayor sea la radiación solar en el día, mayor son las temperaturas alcanzadas en el secador.

En las figura, del 4.43 al 4.56, las temperaturas alcanzadas en el secador mixto, son superiores a las temperaturas en el secador indirecto y estas a su vez son mayores al secador directo. La radiación solar y la velocidad del viento son determinantes en el secado solar de los granos de quinua. Esto se debe al diseño del secador mixto, los granos de quinua a secar recibirán calor directamente y a través del colector. De la evaluación de los factores que influyen directamente en la calidad y velocidad del secado son; la velocidad del viento y la radiación solar.

4.2.5 RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE MASA, CONTENIDO DE HUMEDAD Y VELOCIDAD DE SECADO EN EL SECADO SOLAR DE LA QUINUA

Los resultados comparativos (pérdida de masa, contenido de humedad y velocidad de secado) del secador mixto, indirecto y directo, de la quinua blanca (blanca de Junín) y roja (Pasankalla), se pueden observar en la tabla 4.15.

TABLA N° 4.15: Resultados comparativos del secador mixto, indirecto y directo de la quinua blanca (Blanca de Junín) y roja (Pasankalla)

	MIXTO	INDIRECTO	DIRECTO	VARIEDAD DE QUINUA
MASA INICIAL(g)	66,5	64,67	67,53	Blanca de Junín
MASA SECA(g)	52,31	52,13	56,01	
MASA AGUA EVAPORADA(g)	14,19	12,54	11,52	
TIEMPO DE SECADO(h)	4	4	4	
MASA INICIAL(g)	81,38	72,22	77,05	Pasankalla
MASA SECA(g)	63,23	58,64	62,35	
MASA AGUA EVAPORADA(g)	18,15	13,58	14,7	
TIEMPO DE SECADO(h)	4	4	4	

El en tabla N° 4.16 se observa un resumen de los datos registrados y obtenidos en la evaluación del secado solar de los granos de quinua (Blanca de Junín y Pasankalla). Estos datos se utilizaron para ver las diferencias que existen entre los diferentes tipos de secados, la pérdida de masa en el tiempo, la variación de la humedad en el tiempo y su

velocidad de secado a través del tiempo. Para poder observar los datos registrados con mayor detalle ver ANEXO N° 04.

TABLA N° 4.16: Resultados de los cálculos realizados en el secado de la quinua blanca (blanca de Junín) y roja (pasankalla)

VARIEDAD DE QUINUA	TIEMPO (horas)		0	1	2	3	4
Blanca de Junín	Pesos Quinua(g)	MIXTO	66,50	55,49	53,21	52,52	52,31
		INDIRECTO	64,67	56,31	53,56	52,52	52,13
		DIRECTO	67,53	60,22	57,57	56,48	56,01
	Masa de agua evaporada(g)	MIXTO	0	11,01	13,29	13,98	14,19
		INDIRECTO	0	8,36	11,11	12,15	12,54
		DIRECTO	0	7,31	9,96	11,05	11,52
	Humedad libre W(g de agua/g de masa seca)	MIXTO	0,2713	0,0608	0,0172	0,0040	0,0000
		INDIRECTO	0,2406	0,0802	0,0274	0,0075	0,0000
		DIRECTO	0,2057	0,0752	0,0279	0,0084	0,0000
	Velocidad de secado (g de agua evaporada/h)	MIXTO	0	11,01	6,65	4,66	3,55
		INDIRECTO	0	8,36	5,56	4,05	3,14
		DIRECTO	0	7,31	4,98	3,68	2,88
Pasankalla	Pesos Quinua(g)	MIXTO	81,35	67,69	64,34	63,50	63,20
		INDIRECTO	80,91	71,21	67,99	66,90	66,21
		DIRECTO	68,34	61,43	56,86	55,42	54,76
	Masa de agua evaporada(g)	MIXTO	0	13,66	17,01	17,85	18,15
		INDIRECTO	0	9,70	12,92	14,01	14,70
		DIRECTO	0	6,91	11,48	12,92	13,58
	Humedad libre W(g de agua/g de masa seca)	MIXTO	0,2871	0,0710	0,0180	0,0047	0,0000
		INDIRECTO	0,2220	0,0755	0,0269	0,0104	0,0000
		DIRECTO	0,2480	0,1218	0,0383	0,0121	0,0000
	Velocidad de secado(g de agua evaporada/h)	MIXTO	0	13,66	8,51	5,95	4,54
		INDIRECTO	0	9,70	6,46	4,67	3,68
		DIRECTO	0	6,91	5,74	4,31	3,40

4.2.5.1 PÉRDIDA DE MASA

En la figura 4.57 podemos observar, en la primera hora la pérdida masa de los granos de quinua es 11.01g, 8.36g y 7.31g en el secador mixto, indirecto y directo respectivamente. En la segunda hora la pérdida masa de los granos de quinua es 2.28g, 2.75g y 2.65g en el secador mixto, indirecto y directo respectivamente. En la tercera hora la pérdida masa de los granos de quinua es 0.69g, 1.04g y 1.09g en el secador mixto, indirecto y directo respectivamente. En la cuarta hora la pérdida masa de los granos de quinua es 0.21g, 1.39g y 1.49g en el secador mixto, indirecto y directo respectivamente. La masa va disminuyendo en el tiempo. La pérdida de masa en el secador mixto es mayor que en el secador indirecto y esta mayor al secado directo.

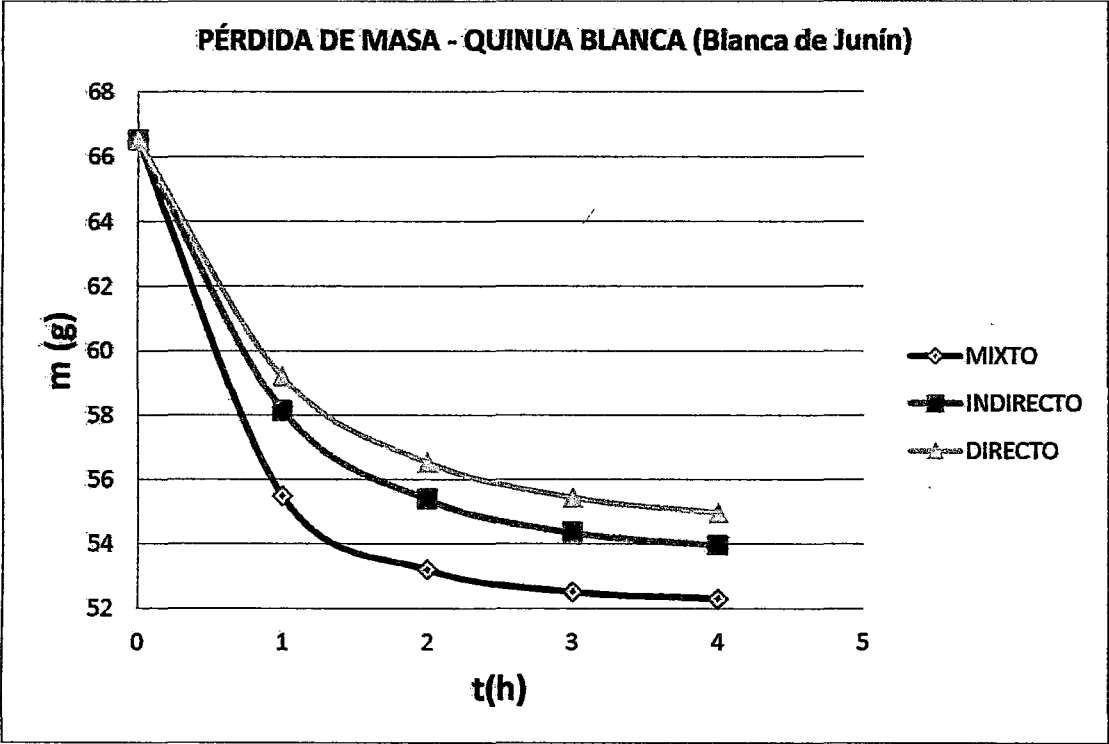


Figura 4.57: Pérdida de masa en el secado de la quinua (blanca de Junín).

Montero (2005) nos menciona; que el secado térmico, sistema más habitual y utilizado de secado de subproductos, es un proceso simultáneo de transferencia de masa y energía en el que se produce básicamente; transferencia de calor, desde el agente desecante al

producto y transferencia de masa, encargada de llevar la humedad del interior del producto hacia la superficie y de la superficie al aire de los alrededores. En la figura 4.57 y 4.58 podemos observar que en el secador mixto la pérdida de masa es más rápida, durante las primeras horas de secado, que en el secado indirecto y en el secado al aire libre.

En la figura 4.58 podemos observar, en la primera hora la pérdida de masa de los granos de quinua es 13,66g, 9,70g y 6,91g en el secador mixto, indirecto y directo respectivamente. En la segunda hora la pérdida masa de los granos de quinua es 3,35g, 3,22g y 4,57g en el secador mixto, indirecto y directo respectivamente. En la tercera hora la pérdida masa de los granos de quinua es 0,84g, 1,09g y 1,44g en el secador mixto, indirecto y directo respectivamente. En la cuarta hora la pérdida masa de los granos de quinua es 0,30g, 0,69g y 0,66g en el secador mixto, indirecto y directo respectivamente. La pérdida de masa en el secador mixto es mayor que en el secador indirecto y esta mayor al secado directo.

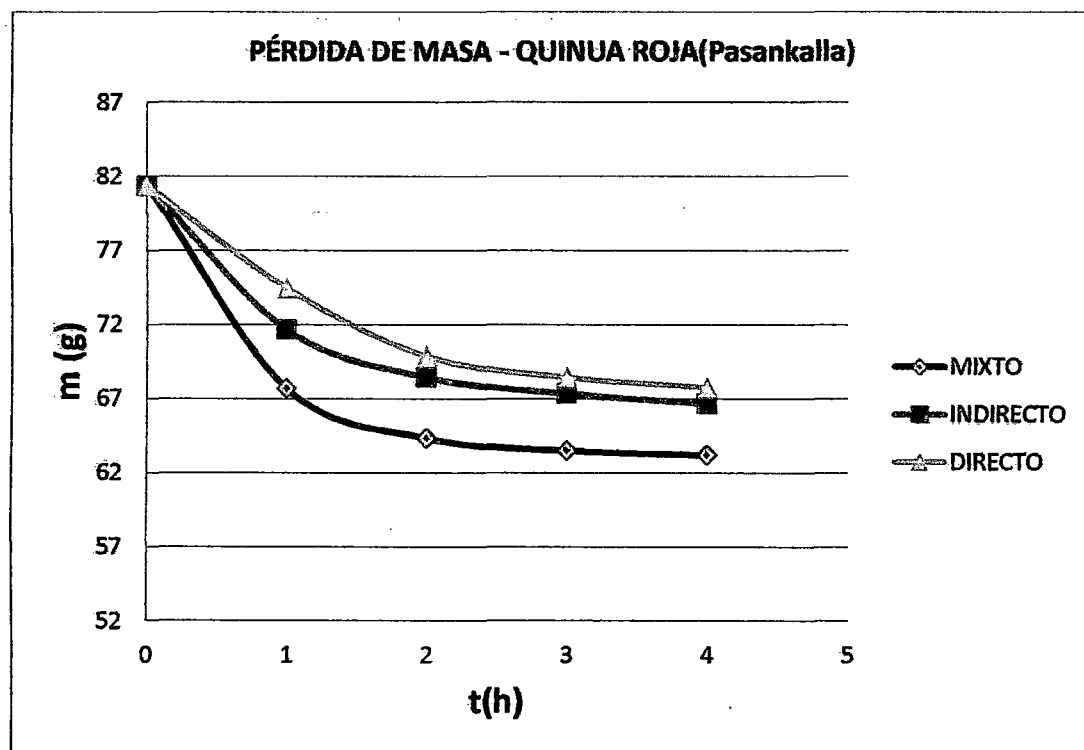


Figura 4.58: Pérdida de masa en el secado de la quinua (pasankalla)

4.2.5.2 CONTENIDO DE HUMEDAD

En la figura 4.59 podemos observar, que en la primera hora el contenido de humedad de los granos de quinua disminuye en 0,21, 0,16 y 0,13 (g de agua/g de masa seca) en el secador mixto, indirecto y directo respectivamente. La pérdida del contenido de humedad libre fue mayor en las primeras horas en comparación con las siguientes. Con el tiempo la pérdida de humedad se hizo constante.

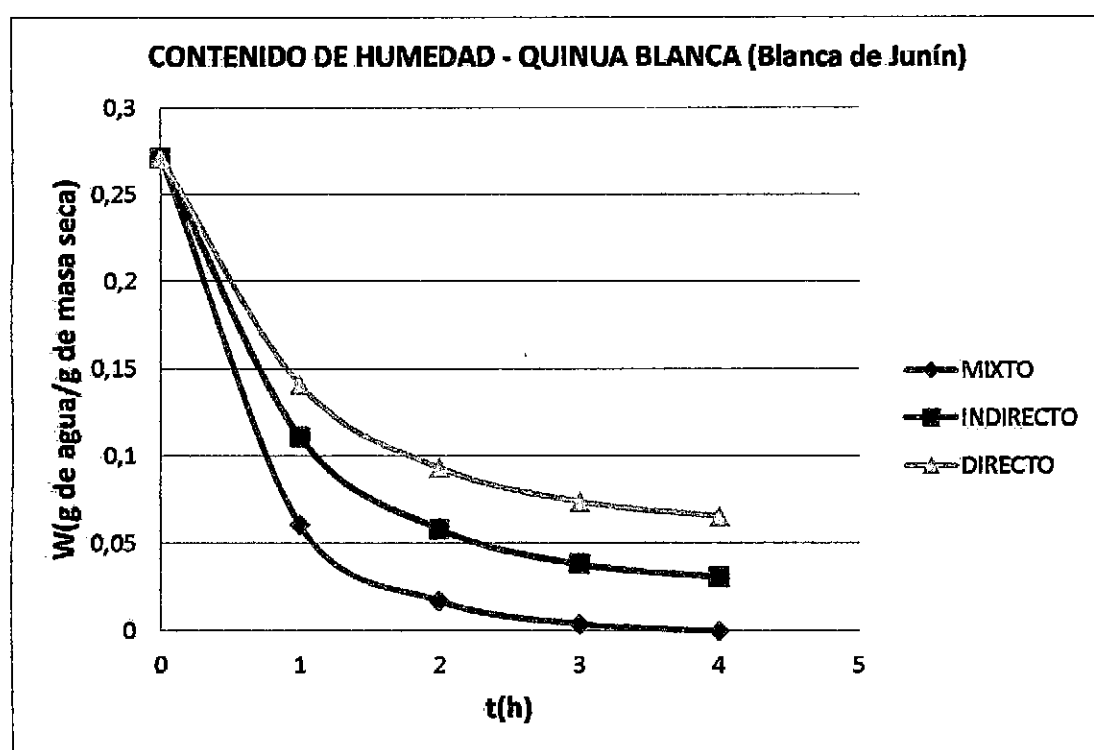


Figura 4.59: Contenido de humedad libre en la quinua (blanca de Junín) durante el secado.

Montero (2005) nos menciona; que cuando la humedad se encuentra en la superficie sólo se necesita para el secado la evaporación superficial. Sin embargo, cuando la humedad se halla en el interior, el secado está influido por el movimiento de la humedad en la materia, que es consecuencia de fenómenos como la capilaridad, la difusión del vapor y el flujo de moléculas. En la figura 4.59 y 4.60 se observa que en el secador solar mixto hay una

pérdida del contenido de humedad más rápida que en el secador indirecto y en el secado directo. En el secador solar indirecto hay una pérdida del contenido de humedad más rápida que en el secado directo. La pérdida de humedad en la quinua, dependerá de cuanta energía (radicación solar más velocidad de viento) se use ella.

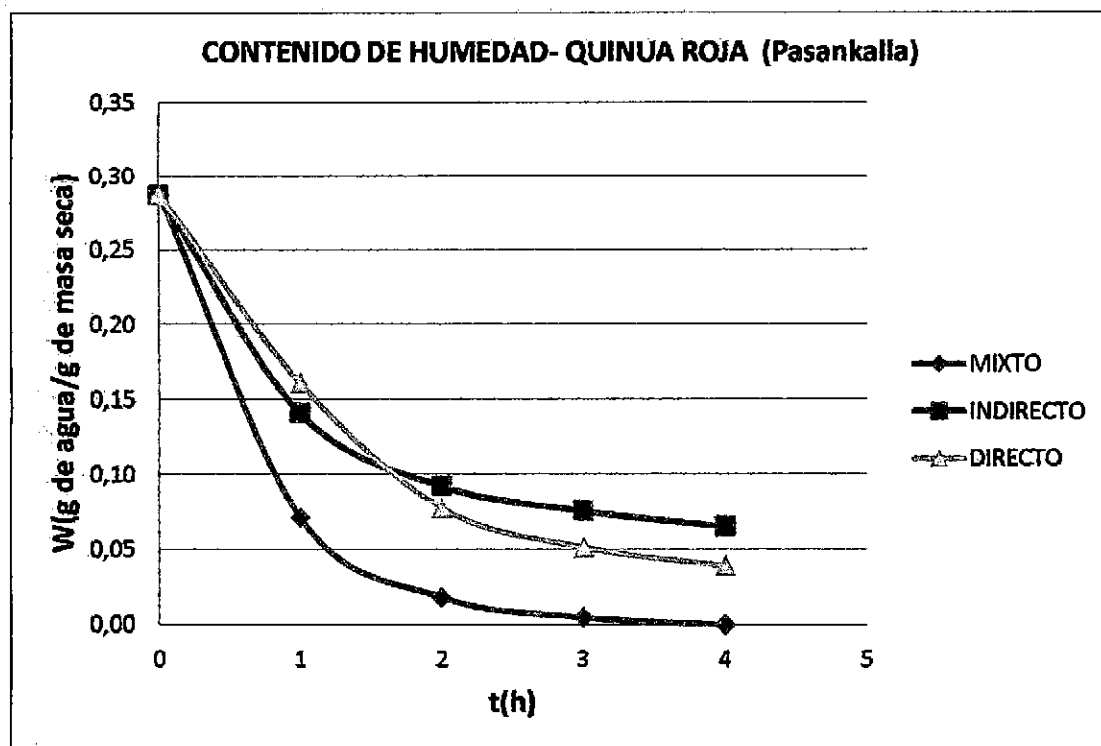


Figura 4.60: Contenido de humedad libre en la quinua (pasankalla) durante el secado.

En la figura 4.18 se observa, que en la primera hora el contenido de humedad de los granos de quinua disminuye en 0,22, 0,15 y 0,13 (g de agua/g de masa seca) en el secador mixto, indirecto y directo respectivamente. La pérdida del contenido de humedad libre fue mayor en la primera hora en comparación a las siguientes. Se observa que en el secador solar mixto los granos de quinua, pierden más humedad que en el secador indirecto y directo.

4.2.5.3 VELOCIDAD DE SECADO

En la figura 4.61 se observa, que en la primera hora velocidad de secado de los granos de quinua es 11,01, 8,36 y 7,31, g de agua evaporada/h, en el secador mixto, indirecto y directo respectivamente. En la segunda hora velocidad de secado de los granos de quinua es 6,65, 5,56 y 4,98, g de agua evaporada/h, en el secador mixto, indirecto y directo respectivamente. En la tercera hora velocidad de secado de los granos de quinua es 4,66, 4,05 y 3,68, g de agua evaporada/h, en el secador mixto, indirecto y directo respectivamente. En la cuarta hora velocidad de secado de los granos de quinua es 3,55, 3,14 y 2,88, g de agua evaporada/h, en el secador mixto, indirecto y directo respectivamente. Podemos notar que la velocidad de secado disminuye con el tiempo, debido a que la humedad disminuye.

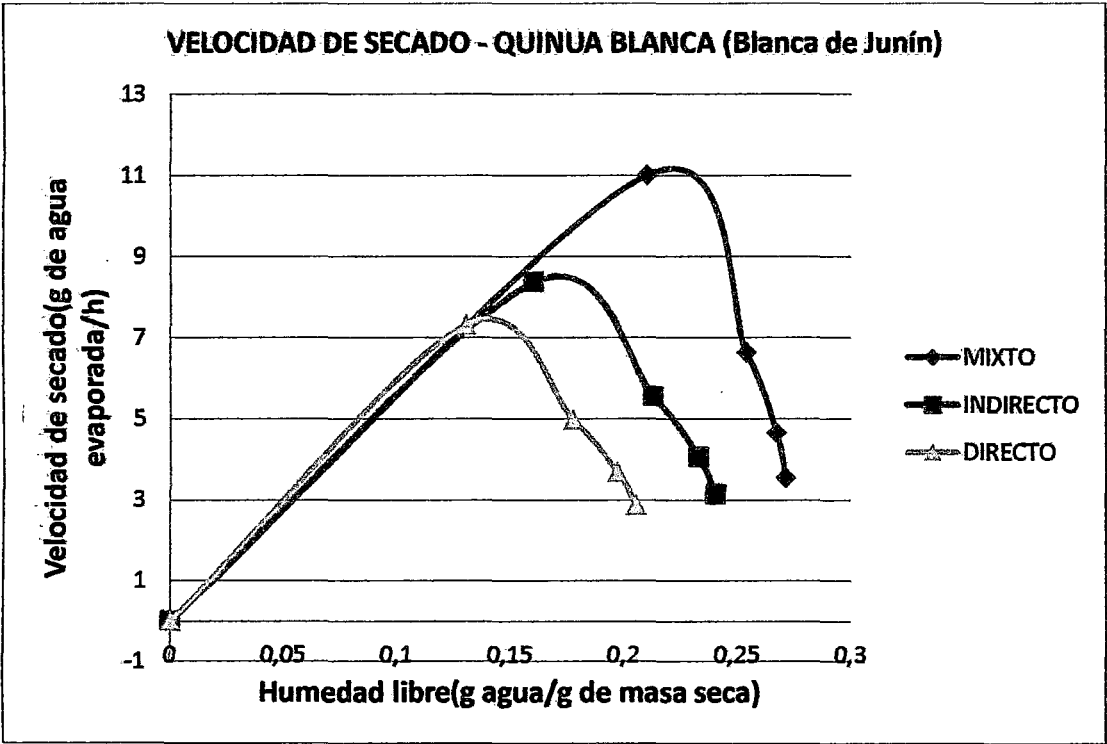


Figura 4.61: Velocidad de secado de la quinua (blanca de Junín) durante el secado.

En la figura 4.62 se observa, que en la primera hora velocidad de secado de los granos de quinua es 13,66, 9,70 y 6,91, g de agua evaporada/h, en el secador mixto, indirecto y directo respectivamente. En la segunda hora velocidad de secado de los granos de quinua es 8,51, 6,46 y 5,74, g de agua evaporada/h, en el secador mixto, indirecto y directo respectivamente. En la tercera hora velocidad de secado de los granos de quinua es 5,95, 4,67 y 4,31, g de agua evaporada/h, en el secador mixto, indirecto y directo respectivamente. En la cuarta hora velocidad de secado de los granos de quinua es 4,54, 3,68 y 3,40, g de agua evaporada/h, en el secador mixto, indirecto y directo respectivamente. Podemos notar que la velocidad de secado de los granos de quinua disminuye con el tiempo, debido a que la humedad disminuye.

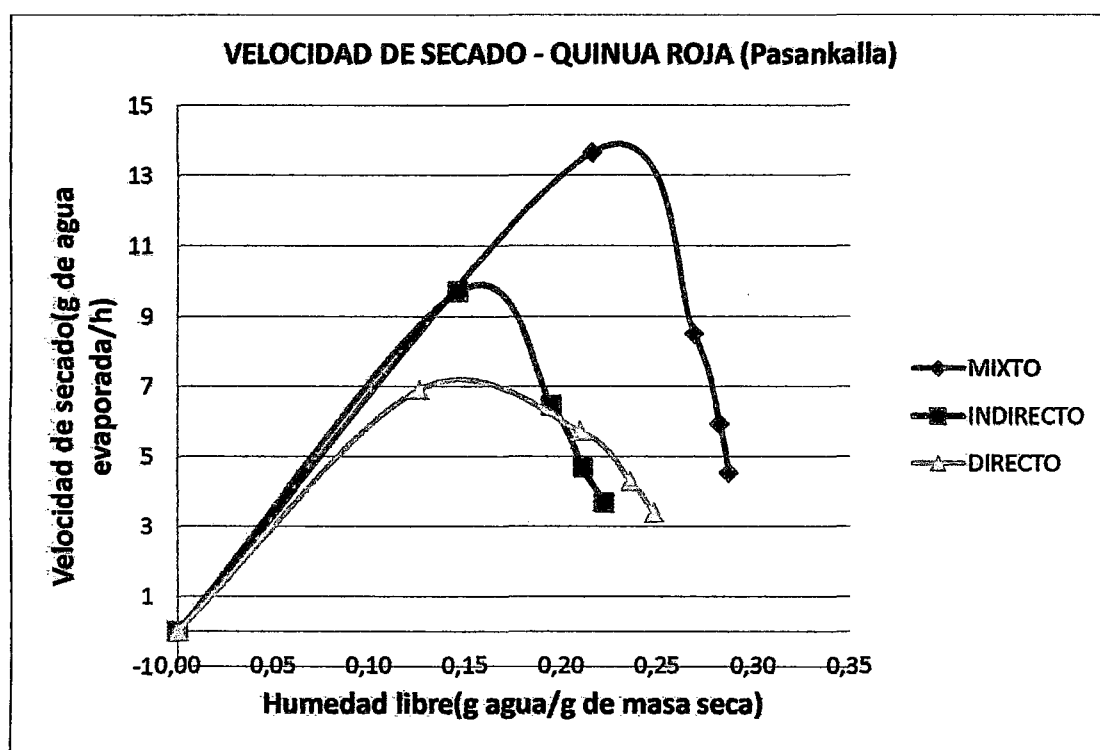


Figura 4.62: Velocidad de secado de la quinua (pasankalla) durante el secado.

Se pueden observar claramente las fases del proceso de secado. 1era Fase: Periodo de velocidad de secado creciente en función del tiempo. 2da Fase: Periodo de velocidad de secado constante, el secado tiene lugar sólo en la superficie, produciéndose exclusivamente la evaporación de la humedad superficial. La extracción de humedad en

este periodo depende principalmente de las condiciones del aire circundante y prácticamente es independiente de la naturaleza del producto. El proceso es similar a la evaporación de un líquido. 3era Fase, periodo de velocidad de secado decreciente, la resistencia interna del material se hace más importante, dificultando el paso de humedad; ya no existen condiciones de saturación en la superficie y se produce la eliminación de la humedad interna. Este periodo depende fundamentalmente de la difusión de humedad del interior del producto hacia la superficie, así como de la evaporación superficial (Montero, 2005).

Es evidente que la velocidad de secado va a estar influenciada por, **condiciones de aire de secado:** Debe tener condiciones de temperatura y humedad compatibles con el proceso de secado, **condiciones del producto:** En especial el área de transferencia. Es bueno maximizar el área para acelerar el producto. Además, en algunos casos se necesitan tratamientos previos para facilitar el secado (Román, 2008).

En la figura 4.61 y 4.62 se observa el comportamiento característico de la velocidad de secado. La velocidad de secador mixto es mayor a la del secador indirecto, y este es mayor a la del secado directo.

CONCLUSIONES

1. De los ensayos preliminares. Los secadores solares a utilizar fueron el secador solar mixto e indirecto, los espesores de lecho a utilizar son de 2, 4, 6 y 8 milímetros, el tiempo de duración del secado solar será de 4 horas y los factores que influyen en el secado solar a evaluar fueron la radiación solar, velocidad de viento y temperaturas alcanzadas.
2. Los tiempos obtenidos en el secado solar de la quinua (variedad Blanca de Junín) lavada a espesores de lecho de 2 milímetros, 4 milímetros, 6 milímetros y 8 milímetros, usando un secador solar mixto, fueron 85.7 minutos, 95.7 minutos, 134.3 minutos y 165.7 minutos respectivamente. En el secador indirecto los tiempos óptimos de secado de la quinua (variedad Blanca de Junín) lavada a espesores de lecho de 2 milímetros, 4 milímetros, 6 milímetros y 8 milímetros fueron 165.7 minutos, 177.1 minutos, 231.4 minutos y 251.4 minutos respectivamente.
3. Los tiempos obtenidos de secado de la quinua (variedad Pasankalla-roja) lavada a espesores de lecho de 2 milímetros, 4 milímetros, 6 milímetros y 8 milímetros, usando un secador solar mixto, fueron 84.3 minutos, 97.14 minutos, 131.43 minutos y 164.3 minutos respectivamente. En el secador indirecto los tiempos óptimos de secado de la quinua (variedad Pasankalla-roja) lavada a espesores de lecho de 2 milímetros, 4 milímetros, 6 milímetros y 8 milímetros fueron 165.7 minutos, 177.1 minutos, 231.4 minutos y 251.4 minutos respectivamente.
4. En el proceso de determinación del tiempo de secado de los granos de quinua se evaluó diferencias entre los tratamientos, efecto de interacción del **tipo secado x espesor de lecho**, se encontró que el mejor tratamiento fue el tiempo de 165 minutos a un espesor de lecho de 8 milímetros, secador mixto, este fue significativamente superior al resto de tiempos de secado (superior en cantidad de quinua secada, y tiempo de secado aceptable).

5. En cuanto a la evaluación sensorial de los granos de quinua, de variedad blanca de Junín, secados realizados en cuanto a su color se evaluó diferencias entre los tratamientos y de acuerdo a las ponderaciones hedónicas (jueces entrenados), por preferencia, se encontró que el mejor tratamiento fue a un espesor de lecho 8 milímetros (secador mixto), debido a que seca mayor cantidad de quinua, en un tiempo óptimo aceptable y mantiene un color significativamente aceptable.
6. En la evaluación del comportamiento de los factores (radiación solar, velocidad de viento y temperaturas alcanzadas) que influyen en el secado de los granos de quinua (blanca de Junín y Pasankalla), las medias alcanzadas en los días de evaluación son; la temperatura media alcanzada en el secador mixto fue 62°C, en el secador indirecto la temperatura media fue de 45 °C, temperatura media al ambiente 25°C, intensidad de radiación media de 750 w/m² y una velocidad de viento media de 0,4 m/s².
7. En los cálculos de pérdida de masa, contenido de humedad y velocidad de secado de los granos de quinua (blanca de Junín y pasankalla), en el secador solar mixto e indirecto, la pérdida de masa y contenido de humedad en el secador mixto fue mayor que en el secador indirecto y esta fue mayor al secado directo. La velocidad de secado en el secador mixto es mayor al secador indirecto, y este es mayor al secado directo.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que en la construcción del secador solar, en las Empresas que brindan este servicio en Ayacucho, adicionen un ventilador hasta alcanzar velocidades de 0,5m/s y 1 m/s del flujo del aire, esto facilitará el control de proceso de secado de la quinua en equipos de tamaño grande.
2. Se recomienda adicionarle movimiento (remover y mezclar la quinua) en las bandejas de secado, para acelerar el secado solar, obtener mejores tiempos de secado y que el secado de la quinua sea más uniforme.

BIBLIOGRAFÍA

1. Almada Martín, María Stella Cáceres, Marta Machaín-Singer, Jean Claude Pulfer. Fundación Celestina Pérez de Almada (2005). Guía de uso de secadores para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes. Asunción, Paraguay. <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Montevideo/pdf/ED-Guiasecaderosolar.pdf>
2. Rivera, Ricardo. 1995. Cultivos Andinos en el Perú. Investigaciones y Perspectivas de su Desarrollo. Editorial Minerva. Lima, Perú. pp. 417.
3. Abdón, A. 2003 Análisis de ventajas competitivas de quinua (*Chenopodium quinoa willd*) peruana para exportación (Puno). Tesis para optar el título profesional de Mg. Sciantiae en Economía Agrícola en la Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima -Perú, pp.8,15.
4. FAO/RLAC 1992. Manual sobre la utilización de los cultivos Andinos subexplotados en la alimentación. Santiago de Chile. pp.42.
5. FAO/RLAC 1997. Cultivos Andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. Santiago de Chile. pp. 148-157.
6. Meyhuay, Magno. 2004. Chapter XI QUINUA: Post-harvest Operations. Instituto de Desarrollo Agroindustrial (INDDA). La Molina. Disponible en: <http://www.fao.org/inpho/compend/text/ch11.htm>
7. Mujica, A. 1993. Selección de Variedad de Quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) en Chapingo, Mexico. Tesis de M.C. Colegio de Posgraduados, Centro de Genetica. Chapingo, Mexico. Pp.24-29.
8. Monteros, C., C, Caicedo, M. Rivera, C. Vimos. 1994. INIAP-Alegria; Primera Veriedad Mejorada de Amaranto para la Sierra Ecuatoriana. Boletín divulgatorio N°246. CIID-Canad. pp.24.
9. <http://www.enhorabuenasmanos.com/articulos/muestra.asp?art=2598>
10. Recetas y Beneficios nutricionales de la “Quínoa”. 2010. Corporacion de apoyo al celiaco. Disponible en: <http://www.coacel.cl/documentos/recetas.pdf>.
11. Ahamed, N.T., Singhal, R.S., Kulkarni, P.R. and Pal, M. 1998. A lesser – known grain, *Chenopodium quinoa*: Review of the chemical composition of its edible parts. Food and Nutrition Bulletin, pp. 61-70.

12. Rurales, J. y B. M. Nair. 1992(a). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), an important andean food crop. Department of Applied Nutrition, University of Saenz, C y Gomez, C. 2000. Mieles españolas. Características e identificación mediante al análisis del polen. Ediciones Mundi Prensa. Madrid.
13. Rurales, J. 1992. Development of an infant food from quinoa *Chenopodium quinoa* Willd. Technological aspects and nutritional consequences. Dissertation University of Lund, Sweeden. pp.13-43.
14. Montero Irene Puertas 2005. Tesis Doctoral. Moldeado y Construcción de un Secadero Solar Hibrido para Residuos Biomásicos. Edita Universidad de Extremadura Servicio de Publicaciones.
15. Román Roberto L., María Cristina Ferrando, Rodrigo Valdovinos, Rosita Alarcón. "El Secado Solar Desde aspectos Fundamentales hasta la Práctica". Corporación EcoMaipo, 2008.
16. R. Corvalan, M. Horn, R. Roman y L. Saravia, Ingenieria del secado solar. CYTED-D, 1995.
17. Siguencia Jorge Marcelo Avila, 2013. Tesis "Evaluación de un Secador Solar Inclinado con Absorbedor de Zeolita para Granos de Cacao". Universidad de Cuenca, Ecuador.
18. Ocon-Tojo, 1970; PROBLEMAS DE INGENIERÍA QUÍMICA; Tomo II.
19. Dávila Nava J. R, 2004; Estudio Experimental del Efecto de la Porosidad de Partículas sobre el Proceso de Secado en un Lecho Fluidizado a Vacío Empleando Aire; Departamento de Ingeniería Mecánica, Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas Puebla.
20. F. Kneule, El secado. Urmo, S.A. de Ediciones, Bilbao, 1982.
21. Blanco J. Gálvez, "Desarrollo de colectores solares CPC para aplicaciones fotoquímicas de degradación de contaminantes persistentes en agua, "tesis doctoral. Plataforma Solar de Almería. CIEMAT, Abril, 2002.
22. Almanza R. y Muñoz F. (1994) Ingeniería de la Energía Solar. El Colegio Nacional, México.
23. Páez, S; DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SECADOR DE ALMIDON DE YUCA; Escuela Politécnica Nacional; Quito, 1990.
24. Delgado, E; Peralta, J; Barriga, A. (2005) Secadores Solares – Términos para Granos y Frutas para Utilizarlo en Zonas Remotas. Facultad de Ingeniería Mecánica

y Ciencias de la Producción. Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). Guayaquil-Ecuador.

25. Moreno Gamaliel M (2001). "Manual de Construcción y Operación de una Secadora Solar". Seminario de Proyectos II, Ingeniería en Energía, UAM-I. http://cbi.izt.uam.mx/iph/archivos_profesores/50/archivos/4f197.pdf
26. SENAMHI, 2011. XVIII Simposio Peruano de Energía Solar. ENERGÍA SOLAR PARA EL DESARROLLO DE REGIONES RURALES ANDINAS ALEJADAS. Lima 2011.
27. JANAMPA QUISPE, Kléber;; CERÓN BALBOA, Octavio; CORTEZ LEDESMA, Nicolás Eusebio; ORÉ GARCÍA, Julio; MONTES DE OCA ALCARRAZ, Ciro; MORALES MORALES, Oswaldo. "OPTIMIZACION DE UN PROTOTIPO DE SECADOR SOLAR PARA SECADO DE LÚCUMA EN AYACUCHO". Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas Geología y Civil. Programa de investigación de Energías Renovables
28. León Hanco Juvenal M.(2003) CULTIVO DE LA QUINUA EN PUNO-PERÚ- DESCRIPCIÓN, MANEJO Y PRODUCCIÓN. PUNO-PERÚ
29. Norma Técnica Peruana (NTP) 205.062:2009 QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd) Requisitos. 1º Edición.

ANEXO N° 01:

- **TABLAS DE RESULTADOS PRELIMINARES**
- **TABLAS DE RESULTADOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE SECADO**

TABLAS DE RESULTADOS PRELIMINARES

**Tabla N°01: Resultados de la determinación del tipo de secador a usar
(20 de setiembre del 2013)**

TIEMPO (min.)	TEMPERATURA DEL SECADOR (°C)			TIEMPO	TEMPERATURA DEL SECADOR (°C)		
	Directo	Indirecto	Mixto		Directo	Indirecto	Mixto
0	25	28	39	105	24	41	78
5	24	31	45	110	25	41	79
10	25	33	48	115	24	41	80
15	25	32	50	120	25	40	80
20	24	34	53	125	25	39	78
25	24	35	55	130	24	38	78
30	23	35	56	135	24	38	79
35	25	36	58	140	23	38	79
40	24	36	59	145	27	40	80
45	25	36	60	150	28	41	81
50	25	37	62	155	27	42	81
55	24	36	64	160	28	43	82
60	24	38	68	165	28	44	83
65	23	39	70	170	29	45	84
70	25	37	70	175	28	43	82
75	24	37	73	180	28	42	80
80	25	40	72	185	27	42	83
85	25	42	75	190	29	43	84
90	24	44	77	195	28	45	84
95	24	44	78	200	29	46	84
100	23	42	78	PROM.	25.4	39.1	71.4

Tabla N°02: Resultados de la determinación del tipo de secador a usar
(21 de setiembre del 2013)

TIEMPO (min.)	TEMPERATURA DEL SECADOR (°C)			TIEMPO (min.)	TEMPERATURA DEL SECADOR (°C)		
	Directo	Indirecto	Mixto		Directo	Indirecto	Mixto
0	25	37	58	140	28	40	67
5	26	41	58	145	27	41	67
10	26	41	60	150	26	42	70
15	27	38	60	155	28	45	72
20	25	33	53	160	30	47	74
25	25	33	54	165	29	45	74
30	24	34	57	170	29	37	69
35	24	37	58	175	30	42	72
40	26	37	59	180	29	43	73
45	29	36	60	185	30	43	74
50	29	33	53	190	30	44	74
55	26	35	57	195	31	45	75
60	26	37	62	200	30	42	71
65	26	37	60	205	30	43	74
70	26	39	64	210	29	43	74
75	26	40	61	215	30	44	75
80	26	38	58	220	32	43	72
85	27	41	64	225	31	42	70
90	26	43	68	230	31	41	72
95	26	39	64	235	32	40	69
100	27	39	67	240	32	41	69
105	26	39	64	245	29	43	69
110	27	36	61	250	29	44	71
115	26	38	65	255	29	44	70
120	27	40	63	260	31	41	69
125	27	43	62	265	29	44	68
130	27	41	63	270	31	45	72
135	28	40	66	PROM.	27.5	39.6	64.7

**Tabla N° 03: Resultados de la evaluación de los factores que influyen en el secado solar
de los granos de quinua (03/10/2013)**

HORA	TEMPERATURA (°C)		RADIACION (w/m ²)	VIENTO (m/s)	HORA	TEMPERATURA (°C)		RADIACION (w/m ²)	VIENTO (m/s)
	MIXTO	INDIRECTO				MIXTO	INDIRECTO		
9:20	31	21	660	0.3	11:25	55	44	810	0.9
9:25	39	21	690	1.0	11:30	64	44	810	0.3
9:30	43	26	690	0.4	11:35	66	46	820	0.3
9:35	45	26	700	0.5	11:40	67	47	810	0.8
9:40	50	28	710	1.3	11:45	69	45	800	0.9
9:45	51	29	690	0.8	11:50	65	45	820	0.4
9:50	52	31	720	0.5	11:55	61	46	810	0.3
9:55	55	33	740	0.3	12:00	69	46	780	0.5
10:00	58	34	750	1.5	12:05	73	47	790	1.0
10:05	59	34	740	1.0	12:10	74	47	750	0.3
10:10	58	34	760	0.5	12:15	74	48	790	0.5
10:15	57	35	710	0.8	12:20	70	46	810	2.0
10:20	57	36	580	0.4	12:25	60	48	810	2.4
10:25	52	36	740	1.0	12:30	69	47	800	2.3
10:30	54	35	780	2.0	12:35	73	48	820	2.4
10:35	56	37	770	1.0	12:40	65	48	790	2.0
10:40	62	38	790	2.0	12:45	52	46	650	0.4
10:45	63	50	800	1.0	12:50	61	46	660	0.5
10:50	58	41	690	1.5	12:55	51	42	670	0.4
10:55	61	40	780	1.0	13:00	62	46	680	0.3
11:00	62	39	790	1.5	13:05	57	45	670	0.3
11:05	61	41	800	1.6	13:10	57	43	530	0.4
11:10	66	43	800	1.0	13:15	60	44	640	0.5
11:15	66	43	810	0.4	13:20	60	44	640	0.6
11:20	60	43	800	1.0	PROM.	59.4	40.2	744	0.9

Tabla N° 04: Resultados de la evaluación de los factores que influyen en el secado solar de los granos de quinua (07/10/2013)

HORA	TEMPERATURA (°C)		RADIACIÓN (w/m²)	VIENTO (m/s)	HORA	TEMPERATURA (°C)		RADIACIÓN (w/m²)	VIENTO (m/s)
	MIXTO	INDIRECTO				MIXTO	INDIRECTO		
11:25	31	26	830	0.2	13:30	62	38	800	0.8
11:30	43	27	840	1	13:35	70	40	720	0.8
11:35	48	29	840	0.8	13:40	61	39	720	0.6
11:40	52	31	830	0.5	13:45	70	40	710	0.2
11:45	55	32	830	1	13:50	66	40	690	0.5
11:50	56	34	830	0.3	13:55	62	41	690	0.2
11:55	58	35	850	1.4	14:00	71	49	680	1.3
12:00	55	34	880	1.8	14:05	72	51	680	0.8
12:05	55	36	880	0.6	14:10	74	41	670	0.3
12:10	56	32	840	0.3	14:15	71	42	660	0.3
12:15	59	36	880	0.3	14:20	68	43	640	0.3
12:20	56	37	740	0.2	14:25	68	42	640	0.2
12:25	57	38	550	0.3	14:30	66	41	660	0.3
12:30	60	38	850	0.5	14:35	66	41	640	1
12:35	60	40	500	0.5	14:40	66	43	620	0.3
12:40	60	39	800	0.2	14:45	66	44	530	0.3
12:45	64	40	850	0.2	14:50	65	47	540	0.5
12:50	62	42	800	0.2	14:55	62	46	530	0.2
12:55	70	42	880	0.3	15:00	60	46	480	1.5
13:00	70	42	600	0.3	15:05	55	44	360	2
13:05	64	41	800	0.8	15:10	45	41	160	1
13:10	69	39	780	0.5	15:15	45	38	120	2
13:15	66	40	760	0.2	15:20	42	36	130	2
13:20	68	39	660	0.3	15:25	41	35	140	1
13:25	64	40	750	0.8	PROM.	60.2	39.1	671	0.7

Tabla N° 05: Resultados de la evaluación de los factores que influyen en el secado solar de los granos de quinua (09/10/2013)

HORA	TEMPERATURA (°C)			RADIACIÓN (w/m ²)	VIENTO (m/s)	HORA	TEMPERATURA (°C)			RADIACIÓN (w/m ²)	VIENTO (m/s)
	DIRECTO	MIXTO	INDIRECTO				DIRECTO	MIXTO	INDIRECTO		
9:00	20	26	20	610	0.3	11:05	20	61	44	820	0.3
9:05	20	26	20	610	0.3	11:10	20	61	44	820	1
9:10	20	26	20	610	0.3	11:15	21	64	44	820	0.3
9:15	25	33	22	660	2	11:20	20	66	45	820	1.5
9:20	29	37	23	680	0.4	11:25	20	69	46	820	0.3
9:25	27	41	25	700	0.3	11:30	21	69	45	820	0.8
9:30	27	46	27	710	0.5	11:35	21	68	46	820	0.8
9:35	27	46	27	730	1	11:40	22	64	46	830	0.5
9:40	29	49	28	740	0.3	11:45	22	62	47	820	0.3
9:45	28	48	31	750	0.3	11:50	23	62	46	830	1.5
9:50	27	54	32	720	0.3	11:55	22	60	46	830	1
9:55	20	56	33	730	1	12:00	21	62	46	820	0.3
10:00	20	57	34	740	0.4	12:05	23	61	47	820	1.2
10:05	21	59	35	740	0.3	12:10	22	64	45	830	1.5
10:10	19	60	36	780	0.3	12:15	23	63	45	830	0.3
10:15	21	55	35	780	0.4	12:20	24	65	46	830	0.6
10:20	20	51	38	770	1.5	12:25	25	67	47	820	0.3
10:25	21	52	39	780	1.5	12:30	24	62	46	820	1.2
10:30	20	48	39	790	1	12:35	24	65	47	820	0.3
10:35	20	55	40	800	1	12:40	24	69	48	810	0.8
10:40	20	59	40	800	0.8	12:45	22	67	46	810	0.8
10:45	19	53	40	800	1.2	12:50	24	63	46	810	0.8
10:50	21	53	41	810	0.3	12:55	24	64	45	800	0.3
10:55	20	53	42	810	1.2	13:00	24	64	46	800	0.6
11:00	22	54	43	820	0.4	PROM.	22.3	55.9	38.9	778	0.7

Tabla N° 06: Resultados de la evaluación de los factores que influyen en el secado solar de los granos de quinua (11/10/2013)

HORA	TEMPERATURA (°C)			RADIACIÓN (w/m ²)	VIENTO (m/s)	HORA	TEMPERATURA (°C)			RADIACIÓN (w/m ²)	VIENTO (m/s)
	DIRECTO	MIXTO	INDIRECTO				DIRECTO	MIXTO	INDIRECTO		
9:10	22	40	26	620	1	11:15	24	61	40	810	0.2
9:15	22	40	26	620	1	11:20	25	64	42	820	0.3
9:20	22	43	27	610	0.8	11:25	26	62	43	820	0.3
9:25	20	45	28	670	0.8	11:30	26	62	43	820	0.3
9:30	22	49	29	720	0.2	11:35	27	59	40	830	0.2
9:35	21	49	30	690	0.5	11:40	26	62	42	820	0.2
9:40	21	51	31	670	0.2	11:45	24	61	43	820	0.2
9:45	23	52	32	720	0.3	11:50	28	66	44	820	0.2
9:50	22	52	32	710	0.5	11:55	26	66	44	820	0.2
9:55	20	54	31	730	0.7	12:00	26	67	43	830	0.3
10:00	23	56	32	740	0.5	12:05	25	62	42	820	0.5
10:05	24	57	34	740	1	12:10	25	62	42	820	0.5
10:10	21	59	34	740	1	12:15	25	70	42	820	0.8
10:15	24	58	33	760	0.5	12:20	26	66	43	820	0.3
10:20	22	58	33	770	1.2	12:25	27	65	43	820	0.3
10:25	24	58	34	770	0.9	12:30	28	68	42	810	0.3
10:30	23	61	36	780	0.2	12:35	26	62	41	830	0.3
10:35	26	68	37	780	0.2	12:40	28	59	40	600	0.3
10:40	26	56	37	780	0.2	12:45	29	59	42	770	0.2
10:45	25	57	39	790	0.2	12:50	28	59	40	600	0.3
10:50	24	56	40	800	0.2	12:55	25	58	40	570	0.5
10:55	24	61	41	800	0.3	13:00	21	57	40	500	0.8
11:00	23	61	41	810	0.3	13:05	23	58	41	590	0.4
11:05	24	60	40	810	0.3	13:10	24	59	42	770	0.2
11:10	24	59	40	820	1	PROM.	24.3	58.2	37.7	751	0.5

TABLAS DE RESULTADOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE SECADO

TABLA N° 07: Controles en el tiempo de secado (20/10/13)

QUINUA BLANCA (20/10/13)					
Hora	T ambiente(°C)	T mixto (°C)	T indirecto (°C)	Radiación (w/m²)	Viento (m/s)
09:00	22.1	47.0	36.1	720.0	0.2
09:10	22.4	47.0	38.1	740.0	0.3
09:20	24.0	57.0	40.8	740.0	0.3
09:30	25.0	57.0	40.7	760.0	0.5
09:40	26.7	60.0	42.1	770.0	0.4
09:50	26.3	59.0	43.4	760.0	0.3
10:00	24.1	62.0	46.5	770.0	0.4
10:10	24.9	62.0	45.6	790.0	0.3
10:20	25.9	67.0	47.3	800.0	0.3
10:30	27.2	67.0	47.7	810.0	0.2
10:40	27.0	70.0	48.0	810.0	0.2
10:50	25.7	69.0	49.4	780.0	0.3
11:00	26.3	69.0	49.4	800.0	0.5
11:10	26.7	68.0	50.2	830.0	0.3
11:20	26.5	69.0	51.2	800.0	0.2
11:30	26.0	70.0	49.8	840.0	0.4
11:40	26.9	69.0	49.6	830.0	0.2
11:50	30.3	69.0	49.5	810.0	0.1
12:00	28.3	69.0	49.0	820.0	0.1
12:10	29.0	70.0	49.5	800.0	0.2
12:20	29.2	69.0	49.1	790.0	0.4
12:30	28.7	70.0	49.4	770.0	0.3
12:40	30.4	70.0	50.4	750.0	0.1
12:50	28.3	67.0	45.7	740.0	0.3
13:00	30.9	70.0	47.4	730.0	0.2
PROM	26.8	64.9	46.6	782.4	0.3

TABLA N° 08: Controles en el tiempo de secado (21/10/13)

QUINUA BLANCA (21/10/13)					
Hora	T ambiente(°C)	T mixto (°C)	T Indirecto (°C)	Radiación (w/m²)	Viento (m/s)
09:00	22.2	48.0	40.0	620.0	0.3
09:10	22.2	48.0	40.0	620.0	0.3
09:20	23.7	50.0	37.9	650.0	0.2
09:30	24.0	53.0	39.1	670.0	0.1
09:40	22.9	49.0	39.5	700.0	0.2
09:50	24.1	50.0	42.5	710.0	0.2
10:00	24.2	50.0	42.5	720.0	0.4
10:10	24.6	55.0	44.4	760.0	0.3
10:20	25.5	53.0	44.4	770.0	0.3
10:30	25.1	54.0	45.4	780.0	0.2
10:40	28.0	62.0	48.0	780.0	0.3
10:50	25.0	62.0	48.1	780.0	0.4
11:00	27.4	63.0	50.2	790.0	0.2
11:10	26.4	66.0	50.5	820.0	0.4
11:20	28.5	67.0	53.3	830.0	0.3
11:30	26.7	66.0	52.1	780.0	0.1
11:40	27.1	66.0	53.4	760.0	0.3
11:50	25.7	60.0	51.1	780.0	0.8
12:00	28.2	65.0	48.9	790.0	0.3
12:10	28.5	64.0	49.0	770.0	0.4
12:20	30.0	70.0	50.4	830.0	0.5
12:30	28.0	61.0	48.6	870.0	1.0
12:40	29.0	64.0	49.4	840.0	0.1
12:50	29.6	70.0	50.8	840.0	0.2
13:00	25.7	61.0	46.3	840.0	1.2
PROM	26.1	59.1	46.6	764.0	0.4

TABLA N° 09: Controles en el tiempo de secado (23/10/13)

QUINUA BLANCA (23/10/13)					
Hora	T ambiente(°C)	T mixto (°C)	T indirecto (°C)	Radiación (w/m²)	Viento (m/s)
09:00	20.8	46.0	30.5	600.0	0.5
09:10	21.2	48.0	34.6	600.0	0.3
09:20	24.5	53.0	35.5	630.0	0.4
09:30	25.4	55.0	39.8	650.0	0.2
09:40	23.4	54.0	39.8	680.0	0.3
09:50	26.5	58.0	39.8	690.0	0.2
10:00	25.2	58.0	43.8	720.0	0.4
10:10	24.0	59.0	45.2	730.0	0.4
10:20	24.1	59.0	46.7	740.0	0.5
10:30	24.8	62.0	46.1	760.0	0.4
10:40	25.1	65.0	45.1	780.0	0.4
10:50	27.0	64.0	46.5	790.0	0.2
11:00	28.1	64.0	47.9	800.0	0.3
11:10	26.0	61.0	49.6	810.0	0.4
11:20	27.6	62.0	49.2	830.0	0.3
11:30	27.9	63.0	50.3	830.0	0.3
11:40	27.0	66.0	51.1	850.0	0.8
11:50	26.9	65.0	50.2	860.0	1.0
12:00	26.2	63.0	46.0	860.0	1.5
12:10	27.0	62.0	47.6	750.0	0.3
12:20	26.6	61.0	47.7	700.0	0.5
12:30	26.8	60.0	46.9	740.0	1.0
12:40	26.9	61.0	46.5	790.0	2.0
12:50	25.6	64.0	46.2	810.0	0.5
13:00	27.5	64.0	46.4	800.0	0.6
PROM	25.7	59.9	44.8	752.0	0.5

TABLA N° 4.10: Controles en el tiempo de secado (12/11/13)

QUINUA BLANCA (12/11/13)					
Hora	T ambiente(°C)	T mixto (°C)	T indirecto (°C)	Radiación (w/m²)	Viento (m/s)
09:00	21.0	35.0	25.9	610.0	0.6
09:10	22.0	39.0	27.9	650.0	0.5
09:20	23.2	41.0	28.7	660.0	0.3
09:30	23.7	48.0	32.9	680.0	0.7
09:40	24.9	54.0	35.6	700.0	0.1
09:50	23.6	56.0	36.5	700.0	0.5
10:00	24.3	57.0	40.5	730.0	0.2
10:10	24.0	59.0	42.2	740.0	0.5
10:20	24.2	58.0	43.6	760.0	0.5
10:30	26.6	59.0	44.1	770.0	0.3
10:40	24.2	57.0	44.0	770.0	0.4
10:50	26.1	65.0	46.2	770.0	0.6
11:00	25.6	66.0	47.8	780.0	0.2
11:10	25.8	75.0	51.6	790.0	0.4
11:20	26.9	77.0	52.0	760.0	0.2
11:30	25.7	75.0	52.2	740.0	0.1
11:40	26.9	67.0	51.9	780.0	0.3
11:50	27.7	65.0	53.4	800.0	0.2
12:00	27.5	71.0	53.0	800.0	0.3
12:10	27.6	71.0	55.8	780.0	0.1
12:20	27.9	71.0	54.0	760.0	0.4
12:30	28.6	70.0	52.0	780.0	0.1
12:40	28.7	72.0	52.1	800.0	0.3
12:50	28.7	71.0	51.7	810.0	0.4
13:00	30.8	73.0	52.8	820.0	0.5
PROM	25.8	62.1	45.1	749.6	0.3

TABLA N° 4.11: Controles en el tiempo de secado (18/11/13)

QUINUA BLANCA (18/11/13)					
Hora	T ambiente(°C)	T mixto (°C)	T indirecto (°C)	Radiación (w/m²)	Viento (m/s)
09:00	20.2	35.0	28.5	580.0	0.5
09:10	20.6	38.0	30.2	600.0	0.4
09:20	21.9	40.0	31.3	620.0	0.6
09:30	23.3	57.0	37.9	640.0	0.4
09:40	24.7	60.0	40.5	660.0	0.3
09:50	26.1	62.0	40.7	680.0	0.1
10:00	26.2	61.0	42.6	700.0	0.1
10:10	26.5	64.0	44.7	720.0	0.1
10:20	26.6	66.0	45.6	730.0	0.3
10:30	27.2	67.0	47.8	750.0	0.2
10:40	26.6	65.0	48.4	750.0	0.3
10:50	27.0	70.0	50.0	760.0	0.3
11:00	28.6	73.0	52.1	770.0	0.1
11:10	29.1	76.0	53.3	780.0	0.1
11:20	28.3	78.0	55.1	790.0	0.3
11:30	27.3	75.0	55.2	800.0	0.6
11:40	28.3	70.0	56.1	810.0	0.5
11:50	28.8	73.0	56.1	810.0	0.1
12:00	30.3	78.0	57.8	800.0	0.2
12:10	28.0	77.0	58.1	810.0	0.4
12:20	31.7	80.0	57.9	810.0	0.4
12:30	31.8	80.0	58.0	800.0	0.1
12:40	31.0	77.0	56.0	790.0	0.2
12:50	30.2	72.0	54.0	780.0	0.4
13:00	30.6	70.0	53.0	790.0	0.5
PROM	27.2	66.6	48.4	741.2	0.3

TABLA N° 4.12: Controles en el tiempo de secado (19/11/13)

QUINUA BLANCA (19/11/13)					
Hora	T ambiente(°C)	T mixto (°C)	T indirecto (°C)	Radiación (w/m²)	Viento (m/s)
09:00	20.0	43.0	28.7	680.0	0.2
09:10	22.0	46.0	30.2	700.0	0.5
09:20	23.0	49.0	33.9	740.0	0.4
09:30	23.5	53.0	37.2	740.0	0.3
09:40	24.9	57.0	40.9	750.0	0.1
09:50	25.5	57.0	42.5	760.0	0.2
10:00	25.7	58.0	44.2	770.0	0.4
10:10	25.5	59.0	46.7	780.0	0.1
10:20	25.9	63.0	48.5	790.0	0.3
10:30	26.1	68.0	50.6	800.0	0.5
10:40	23.4	68.0	51.2	800.0	0.7
10:50	28.4	68.0	51.5	800.0	0.5
11:00	25.2	68.0	50.8	790.0	0.3
11:10	27.5	69.0	51.2	790.0	0.1
11:20	27.5	69.0	51.4	790.0	0.2
11:30	28.5	68.0	51.5	800.0	0.3
11:40	25.7	67.0	53.3	810.0	0.5
11:50	25.7	65.0	52.4	780.0	0.6
12:00	26.0	67.0	50.4	780.0	0.6
12:10	27.0	66.0	48.3	770.0	0.2
12:20	27.2	68.0	48.9	760.0	0.3
12:30	27.4	70.0	49.9	780.0	0.5
12:40	27.6	70.0	49.9	750.0	0.1
12:50	28.9	68.0	50.1	770.0	0.4
13:00	29.9	69.0	50.9	760.0	0.5
PROM	25.9	62.9	46.6	769.6	0.4

TABLA N° 4.13: Controles en el tiempo de secado (24/11/13)

QUINUA BLANCA (24/11/13)					
Hora	T ambiente(°C)	T mixto (°C)	T indirecto (°C)	Radiación (w/m²)	Viento (m/s)
09:00	20.1	40.0	29.6	690.0	0.2
09:10	22.3	42.0	30.5	700.0	0.3
09:20	24.4	44.0	33.2	710.0	0.1
09:30	22.4	51.0	36.3	720.0	0.2
09:40	23.4	52.0	38.4	730.0	0.1
09:50	24.8	55.0	40.6	740.0	0.3
10:00	25.2	56.0	42.7	750.0	0.1
10:10	25.7	63.0	43.9	760.0	0.2
10:20	23.2	64.0	46.3	770.0	0.1
10:30	27.4	66.0	49.3	780.0	0.3
10:40	25.4	65.0	48.5	790.0	0.5
10:50	26.2	66.0	50.4	800.0	0.2
11:00	26.5	70.0	52.2	800.0	0.1
11:10	27.0	72.0	53.2	800.0	0.3
11:20	28.0	73.0	52.3	800.0	0.1
11:30	27.0	71.0	51.9	810.0	0.2
11:40	28.2	70.0	54.9	810.0	0.1
11:50	29.4	72.0	54.6	800.0	0.2
12:00	28.2	71.0	51.3	800.0	0.3
12:10	30.9	72.0	53.8	810.0	0.2
12:20	31.2	71.0	52.8	800.0	0.3
12:30	30.4	71.0	52.0	790.0	0.5
12:40	28.1	72.0	51.8	780.0	0.8
12:50	26.2	70.0	52.8	780.0	1.0
13:00	27.4	70.0	53.2	780.0	1.2
PROM	26.4	63.6	47.1	772.0	0.3

TABLA N° 4.14: Controles en el tiempo de secado (05/11/13)

QUINUA ROJA (05/11/13)					
Hora	T ambiente(°C)	T mixto (°C)	T indirecto (°C)	Radiación (w/m²)	Viento (m/s)
09:00	20.6	36.0	34.5	610.0	0.3
09:10	21.3	45.0	36.7	610.0	0.2
09:20	24.0	51.0	36.4	660.0	0.1
09:30	23.1	54.0	39.3	670.0	0.1
09:40	23.8	56.0	41.9	710.0	0.1
09:50	25.4	59.0	43.8	710.0	0.3
10:00	25.3	61.0	45.0	730.0	0.3
10:10	25.1	61.0	45.0	750.0	0.5
10:20	26.6	65.0	51.4	780.0	0.1
10:30	24.7	69.0	51.1	770.0	0.3
10:40	26.0	71.0	51.8	780.0	0.1
10:50	24.7	65.0	52.5	750.0	1.0
11:00	27.2	65.0	52.8	750.0	0.4
11:10	27.7	65.0	52.7	800.0	0.2
11:20	28.2	64.0	51.2	800.0	0.5
11:30	27.5	64.0	51.7	800.0	0.3
11:40	26.1	70.0	54.8	800.0	0.5
11:50	26.8	65.0	52.6	800.0	0.6
12:00	28.3	69.0	50.0	810.0	0.5
12:10	31.2	73.0	50.1	820.0	0.2
12:20	30.3	75.0	49.3	820.0	0.4
12:30	30.2	76.0	49.8	820.0	0.4
12:40	30.3	69.0	48.0	830.0	0.6
12:50	29.5	74.0	49.5	820.0	0.4
13:00	30.5	70.0	52.5	840.0	0.5
PROM	26.6	63.7	47.8	761.6	0.4

TABLA N° 4.15: Controles en el tiempo de secado (06/11/13)

QUINUA ROJA (06/11/13)					
Hora	T ambiente(°C)	T mixto (°C)	T indirecto (°C)	Radiación (w/m²)	Viento (m/s)
09:00	23.5	43.0	32.3	620.0	0.5
09:10	24.0	45.0	33.0	620.0	0.3
09:20	24.2	53.0	35.9	650.0	0.1
09:30	24.2	55.0	37.0	670.0	0.1
09:40	24.5	56.0	40.2	690.0	0.3
09:50	23.6	55.0	41.6	690.0	0.2
10:00	23.9	56.0	42.9	720.0	0.1
10:10	25.8	59.0	45.8	740.0	0.2
10:20	24.7	60.0	47.0	750.0	0.4
10:30	27.3	70.0	50.3	780.0	0.1
10:40	27.2	67.0	49.4	810.0	0.3
10:50	29.0	67.0	50.6	810.0	0.3
11:00	28.7	70.0	52.3	850.0	0.1
11:10	26.1	71.0	56.3	820.0	0.4
11:20	29.4	74.0	55.1	830.0	0.3
11:30	28.5	65.0	54.9	860.0	0.4
11:40	29.9	71.0	56.6	830.0	0.2
11:50	29.8	75.0	56.0	840.0	0.8
12:00	28.0	67.0	50.5	800.0	0.4
12:10	28.1	65.0	49.1	800.0	0.5
12:20	28.3	65.0	49.9	830.0	0.5
12:30	29.7	67.0	48.8	810.0	0.4
12:40	32.3	65.0	48.3	830.0	0.6
12:50	29.8	66.0	48.2	830.0	0.4
13:00	28.7	67.0	48.0	830.0	0.1
PROM	27.2	63.0	47.2	772.4	0.3

TABLA N° 4.16: Controles en el tiempo de secado (08/11/13)

QUINUA ROJA (08/11/13)					
Hora	T ambiente(°C)	T mixto (°C)	T indirecto (°C)	Radiación (w/m²)	Viento (m/s)
09:00	22.1	36.0	25.3	560.0	0.3
09:10	23.5	38.0	26.2	590.0	0.5
09:20	23.8	39.0	27.9	600.0	0.3
09:30	24.1	40.0	29.3	620.0	0.1
09:40	24.1	52.0	33.4	630.0	0.3
09:50	24.1	55.0	37.9	650.0	0.5
10:00	23.2	55.0	40.3	640.0	0.3
10:10	22.9	55.0	42.5	650.0	0.1
10:20	24.0	55.0	42.1	640.0	0.5
10:30	24.2	55.0	42.3	670.0	0.2
10:40	24.3	60.0	43.2	690.0	0.3
10:50	24.4	64.0	45.7	710.0	0.5
11:00	23.5	58.0	45.2	740.0	0.7
11:10	25.7	73.0	47.5	780.0	0.3
11:20	26.3	75.0	48.3	790.0	0.6
11:30	27.2	75.0	50.5	800.0	0.3
11:40	26.3	76.0	51.6	800.0	0.7
11:50	27.2	70.0	51.0	810.0	0.6
12:00	28.3	71.0	52.1	810.0	0.3
12:10	28.3	72.0	53.5	820.0	0.4
12:20	26.6	72.0	55.5	810.0	0.3
12:30	27.6	72.0	53.5	820.0	0.2
12:40	28.2	73.0	53.5	820.0	0.4
12:50	28.1	74.0	54.2	830.0	0.3
13:00	28.2	73.0	55.3	820.0	0.2
PROM	25.4	61.5	44.3	724.0	0.4

TABLA N° 4.17: Controles en el tiempo de secado (09/11/13)

QUINUA ROJA (09/11/13)					
Hora	T ambiente(°C)	T mixto (°C)	T indirecto (°C)	Radiación (w/m²)	Viento (m/s)
09:00	20.8	40.0	30.2	600.0	0.3
09:10	20.4	44.0	34.6	680.0	0.2
09:20	23.4	48.0	35.9	740.0	0.1
09:30	20.8	49.0	37.1	750.0	0.3
09:40	20.8	56.0	40.5	760.0	0.4
09:50	22.1	53.0	41.6	780.0	0.5
10:00	24.5	60.0	43.2	790.0	0.2
10:10	22.3	54.0	44.7	810.0	0.5
10:20	23.7	61.0	46.7	810.0	0.3
10:30	22.6	60.0	48.0	800.0	0.4
10:40	23.3	60.0	47.1	760.0	0.4
10:50	24.1	63.0	47.0	770.0	0.3
11:00	25.0	64.0	47.7	700.0	0.2
11:10	25.2	64.0	48.2	710.0	0.1
11:20	25.1	64.0	47.8	720.0	0.3
11:30	24.2	63.0	47.6	720.0	0.4
11:40	26.5	66.0	49.3	780.0	0.1
11:50	25.8	68.0	50.6	790.0	0.3
12:00	26.9	67.0	46.9	790.0	0.2
12:10	26.8	68.0	46.9	790.0	0.5
12:20	27.3	68.0	48.1	780.0	0.4
12:30	27.9	69.0	48.2	700.0	0.3
12:40	28.8	69.0	48.1	690.0	0.7
12:50	25.8	63.0	46.0	730.0	0.5
13:00	29.7	69.0	46.5	740.0	0.2
PROM	24.6	60.4	44.7	747.6	0.3

TABLA N° 4.18: Controles en el tiempo de secado (10/11/13)

QUINUA ROJA (10/11/13)					
Hora	T ambiente(°C)	T mixto (°C)	T indirecto (°C)	Radiación (w/m²)	Viento (m/s)
09:00	23.5	35.0	26.5	620.0	0.2
09:10	24.0	40.0	29.9	670.0	0.1
09:20	25.6	52.0	33.3	670.0	0.2
09:30	24.3	55.0	34.8	700.0	0.4
09:40	25.9	57.0	37.0	720.0	0.3
09:50	25.8	57.0	37.2	740.0	0.2
10:00	26.3	58.0	41.5	750.0	0.3
10:10	23.9	60.0	42.9	750.0	0.5
10:20	26.2	63.0	45.5	770.0	0.4
10:30	28.1	65.0	47.6	790.0	0.3
10:40	27.8	67.0	46.2	790.0	0.4
10:50	26.2	66.0	47.6	790.0	0.0
11:00	29.7	71.0	49.6	800.0	0.2
11:10	28.9	75.0	51.8	810.0	0.1
11:20	24.9	76.0	52.6	810.0	0.6
11:30	27.4	72.0	52.3	800.0	0.3
11:40	28.9	72.0	55.3	810.0	0.4
11:50	28.7	68.0	56.7	800.0	0.3
12:00	30.6	75.0	56.8	840.0	0.4
12:10	28.9	75.0	53.7	840.0	0.1
12:20	29.9	76.0	54.6	800.0	0.5
12:30	29.8	76.0	55.1	810.0	0.3
12:40	27.9	71.0	53.2	800.0	0.2
12:50	28.4	68.0	55.3	780.0	0.8
13:00	28.3	65.0	49.3	760.0	0.8
PROM	27.2	64.6	46.7	768.8	0.3

TABLA N° 4.19: Controles en el tiempo de secado (20/11/13)

QUINUA ROJA (20/11/13)					
Hora	T ambiente(°C)	T mixto (°C)	T indirecto (°C)	Radiación (w/m²)	Viento (m/s)
09:00	21.8	35.0	28.6	670.0	0.3
09:10	22.2	37.0	29.9	680.0	0.6
09:20	22.3	48.0	32.8	690.0	0.4
09:30	22.5	49.0	34.4	700.0	0.3
09:40	23.6	53.0	37.5	720.0	0.6
09:50	24.8	60.0	39.6	740.0	0.1
10:00	23.7	62.0	43.4	760.0	0.3
10:10	23.9	65.0	45.4	780.0	0.3
10:20	24.0	66.0	47.2	790.0	0.3
10:30	24.5	67.0	49.4	800.0	0.5
10:40	24.7	68.0	50.1	800.0	0.1
10:50	25.0	69.0	50.3	800.0	0.2
11:00	26.5	70.0	51.4	800.0	0.1
11:10	27.2	73.0	54.2	800.0	0.2
11:20	27.5	77.0	56.2	810.0	0.3
11:30	26.9	78.0	56.4	810.0	0.1
11:40	27.6	76.0	56.2	810.0	0.2
11:50	26.8	71.0	53.5	820.0	0.1
12:00	28.5	70.0	54.9	790.0	0.1
12:10	27.5	72.0	53.2	790.0	0.5
12:20	26.7	75.0	53.1	800.0	0.2
12:30	26.3	74.0	53.0	800.0	0.1
12:40	26.1	72.0	51.9	790.0	0.2
12:50	26.0	70.0	50.8	790.0	0.1
13:00	25.8	69.0	50.5	780.0	0.3
PROM	25.3	65.0	47.4	772.8	0.3

TABLA N° 4.20: Controles en el tiempo de secado (23/11/13)

QUINUA ROJA (23/11/13)					
Hora	T ambiente(°C)	T mixto (°C)	T indirecto (°C)	Radiación (w/m²)	Viento (m/s)
09:00	20.5	46.0	33.5	620.0	0.4
09:10	20.7	50.0	33.9	670.0	0.3
09:20	22.4	52.0	35.7	690.0	0.4
09:30	23.5	55.0	37.2	700.0	0.3
09:40	23.1	56.0	39.2	710.0	0.2
09:50	24.2	58.0	41.5	720.0	0.1
10:00	23.5	60.0	44.2	730.0	0.2
10:10	23.3	62.0	46.6	740.0	0.1
10:20	23.2	65.0	47.5	750.0	0.2
10:30	23.4	68.0	48.2	760.0	0.3
10:40	23.6	68.0	48.2	770.0	0.3
10:50	26.2	67.0	50.0	780.0	0.2
11:00	26.9	70.0	52.3	790.0	0.2
11:10	27.5	73.0	54.1	800.0	0.1
11:20	27.4	72.0	54.2	810.0	0.2
11:30	28.3	68.0	54.5	810.0	0.1
11:40	25.2	65.0	54.3	800.0	0.5
11:50	27.0	63.0	54.4	800.0	0.3
12:00	25.0	67.0	54.9	800.0	0.5
12:10	28.3	70.0	51.2	800.0	0.1
12:20	28.7	72.0	51.5	790.0	0.2
12:30	28.5	74.0	51.5	780.0	0.5
12:40	29.2	75.0	51.9	780.0	0.3
12:50	29.8	76.0	52.8	770.0	0.1
13:00	29.5	74.0	52.3	760.0	0.5
PROM	25.6	65.0	47.8	757.2	0.3

ANEXO N° 02:

FICHA DE EVALUACIÓN SENSORIAL

FICHA DE EVALUACIÓN SENSORIAL

A.- FICHA DE EVALUACIÓN: COLOR

PRODUCTO: QUINUA SECADA

Fecha:.....

Observe la muestra y califique con un aspa (X) según su grado en la escala correspondiente:

CARACTERÍSTICAS	MUESTRAS															
COLOR	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
Me gusta extremadamente																
Me gusta mucho																
Me gusta moderadamente																
Me gusta poco																
Me es indiferente																
Me disgusta poco																
Me disgusta moderadamente																
Me disgusta mucho																
Me disgusta extremadamente																

OBSERVACIÓN:.....
.....
.....

MUCHAS GRACIAS...

B.- FICHA DE EVALUACIÓN: COLOR

PRODUCTO: QUINUA SECADA

Fecha:.....

Observe la muestra y califique con un aspa (X) según su grado en la escala correspondiente:

CARACTERÍSTICAS	MUESTRAS															
COLOR	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
Me gusta extremadamente																
Me gusta mucho																
Me gusta moderadamente																
Me gusta poco																
Me es indiferente																
Me disgusta poco																
Me disgusta moderadamente																
Me disgusta mucho																
Me disgusta extremadamente																

OBSERVACIÓN:.....
.....
.....

MUCHAS GRACIAS...

ANEXO N° 03:

FICHA TÉCNICA DE QUINUA PERLADA

Materia prima : Quinua (*Chenopodium quinoa will*)

Descripción. Considerado como uno de los granos andinos más ricos en proteína; obtenida por un proceso de corte, trillado, pulido y clasificado; contiene aminoácidos como la leucina, isoleucina, metionina, fenilalanina, treonina, triptofano y valina. La concentración de la lisina en la proteína de la quinua es casi el doble en relación a otros cereales y gramíneas. No contiene colesterol.

ESPECIFICACIONES TECNICAS

Organolépticas	
Sabor	Característico
Humedad	Máx. 12 %
Características fisicoquímicas	
Peso hectolitro	Min. 0.700 Kg./cc.
Picking Test (20 gr.)	N°
Granos con cáscara	Máx. 7
Granos roñosos y marrones	Máx. 20
Granos verdes	Máx. 20
Granos negros	Máx. 40
Tallos y palillos	Máx. 1
Piedritas	Máx. 1
Granos dañados	Máx. 20
Proteína	12.2 g
Grasa	6.2 g
Fibra	5.7 g
Cenizas	2.6 g
Características Microbiológicas	
Tamaño de grano (nacional)	
Malla n° 14	Min. 60%
Malla n° 25	Máx. 0.40%
Saponina	0.01%
Presencia de infestación (PCC)	Negativa
Contaminación por roedores	Negativa
Características Microbiológicas	
Aerobios Mesófilos	< 10

Beneficios.

- Alimento recomendado en caso de intolerancia a la leche y harina de trigo, avena, cebada y centeno.
- Favorece el crecimiento de los niños. Consumo recomendado durante la gestación y primeros años de vida.
- Mantiene el organismo sano, con mejor ánimo, mejor apariencia y peso.
- Es de gran utilidad en la síntesis de tejidos nuevos. Presenta propiedades cicatrizantes, desinflamantes, analgésicas contra el dolor de muelas y desinfectantes de las vías urinarias.
- En una dieta vegetariana puede suplir la leche y huevos.
- Ayuda al desarrollo de las células cerebrales, fortaleciendo la memoria y facilitando el aprendizaje.
- Es de fácil digestión y ayuda al organismo a mantener su peso.
- Restablece la hidratación cutánea gracias a los ácidos grasos.

Usos.

Se utiliza esencialmente como alimento para consumo humano en sopas, cremas, guisos, torrijas, postres, panadería y bebidas. Existen diferentes formas de consumo de este producto como grano, hojuela, harina y en algunos productos derivados, como en pastas, cereales preparados, barras energéticas, etc.

Presentación:

Sacos de papel clupack multipliego de 25 Kg.

Almacenamiento.

Conservar sobre parihuelas en lugar fresco, seco y bajo techo.

Vida útil.

Se recomienda consumir antes de los 8 meses.

ANEXO N° 04:

RESULTADOS DE LA CINÉTICA DE SECADO-QUI NUA BLANCA (Blanca de Junín)
RESULTADOS DE LA CINÉTICA DE SECADO-QUI NUA BLANCA (Pasankalla)

ANEXOS IV: RESULTADOS DE LA CINÉTICA DE SECADO-QUINUA ROJA (Pasankalla)

HORA	PESOS QUINUA + BANDEJAS(g)			PESOS QUINUA(g)			MASA AGUA EVAPORADA(g)			W(g de agua/g masa seca)		
	MIXTO	INDIRECTO	AMBIENTE	MIXTO	INDIRECTO	AMBIENTE	MIXTO	INDIRECTO	AMBIENTE	MIXTO	INDIRECTO	AMBIENTE
0	157.59	147.1	155.81	81.38	72.22	77.05	0	0	0	0.2872	0.2220	0.2480
10	153.98	145.26	152.81	77.77	70.38	74.05	3.61	1.84	3	0.2301	0.1767	0.2144
20	151.6	143.97	151.26	75.39	69.09	72.5	5.99	3.13	4.55	0.1924	0.1533	0.1908
30	149.49	143.03	150.13	73.28	68.15	71.37	8.1	4.07	5.68	0.1590	0.1362	0.1737
40	147.43	142.08	148.99	71.22	67.2	70.23	10.16	5.02	6.82	0.1264	0.1190	0.1563
50	145.35	141.08	147.42	69.14	66.2	68.66	12.24	6.02	8.39	0.0935	0.0953	0.1381
60	143.93	140.19	146.11	67.72	65.31	67.35	13.66	6.91	9.7	0.0710	0.0755	0.1218
70	142.96	139.37	145.13	66.75	64.49	66.37	14.63	7.73	10.68	0.0557	0.0607	0.1068
80	142.42	138.02	144.52	66.21	63.14	65.76	15.17	9.08	11.29	0.0472	0.0515	0.0822
90	141.7	137.23	143.98	65.49	62.35	65.22	15.89	9.87	11.83	0.0358	0.0433	0.0678
100	141.25	136.64	143.61	65.04	61.76	64.85	16.34	10.46	12.2	0.0286	0.0378	0.0570
110	140.93	136.1	143.25	64.72	61.22	64.49	16.66	11	12.56	0.0236	0.0323	0.0471
120	140.58	135.62	142.89	64.37	60.74	64.13	17.01	11.48	12.92	0.0180	0.0269	0.0383
130	140.45	135.38	142.7	64.24	60.5	63.94	17.14	11.72	13.11	0.0160	0.0240	0.0340
140	140.22	135.02	142.38	64.01	60.14	63.62	17.37	12.08	13.43	0.0123	0.0192	0.0274
150	140.09	134.81	142.22	63.88	59.93	63.46	17.5	12.29	13.59	0.0103	0.0168	0.0236
160	139.96	134.61	142.11	63.75	59.73	63.35	17.63	12.49	13.7	0.0082	0.0151	0.0199
170	139.83	134.38	141.98	63.62	59.5	63.22	17.76	12.72	13.83	0.0062	0.0131	0.0157
180	139.74	134.18	141.8	63.53	59.3	63.04	17.85	12.92	14.01	0.0047	0.0104	0.0121
190	139.66	134.01	141.68	63.45	59.13	62.92	17.93	13.09	14.13	0.0035	0.0086	0.0089
200	139.57	133.88	141.54	63.36	59	62.78	18.02	13.22	14.27	0.0021	0.0065	0.0066
210	139.52	133.75	141.42	63.31	58.87	62.66	18.07	13.35	14.39	0.0013	0.0047	0.0042
220	139.48	133.68	141.32	63.27	58.8	62.56	18.11	13.42	14.49	0.0006	0.0032	0.0029
230	139.46	133.58	141.21	63.25	58.7	62.45	18.13	13.52	14.6	0.0003	0.0015	0.0011
240	139.44	133.52	141.11	63.23	58.64	62.35	18.15	13.58	14.7	0.0000	0.0000	0.0000

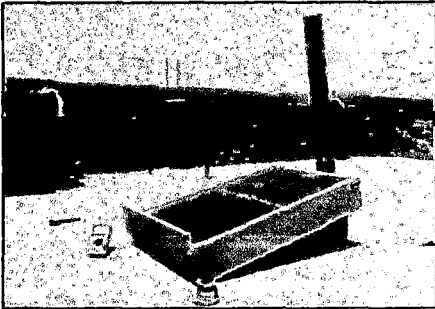
RESULTADOS DE LA CINÉTICA DE SECADO-QUINUA BLANCA (Blanca de Junín)

HORA	PESOS QUINUA + BANDEJAS(g)			PESOS QUINUA(g)			MASA AGUA EVAPORADA(g)			W(g de agua/g masa seca)		
	MIXTO	INDIRECTO	AMBIENTE	MIXTO	INDIRECTO	AMBIENTE	MIXTO	INDIRECTO	AMBIENTE	MIXTO	INDIRECTO	AMBIENTE
0	142.74	139.57	146.29	66.5	64.67	67.53	0	0	0	0.2713	0.2406	0.2057
10	138.59	136.72	143.32	62.35	61.82	64.56	4.15	2.85	2.97	0.1919	0.1859	0.1527
20	136.62	135.34	142.12	60.38	60.44	63.36	6.12	4.23	4.17	0.1543	0.1594	0.1312
30	135.11	134.14	141.26	58.87	59.24	62.5	7.63	5.43	5.03	0.1254	0.1364	0.1159
40	133.83	133.6	140.47	57.59	58.7	61.71	8.91	5.97	5.82	0.1009	0.1260	0.1018
50	132.54	131.97	139.67	56.3	57.07	60.91	10.2	7.6	6.62	0.0763	0.0948	0.0875
60	131.73	131.21	138.98	55.49	56.31	60.22	11.01	8.36	7.31	0.0608	0.0802	0.0752
70	130.96	130.41	138.28	54.72	55.51	59.52	11.78	9.16	8.01	0.0461	0.0648	0.0627
80	130.52	129.87	137.78	54.28	54.97	59.02	12.22	9.7	8.51	0.0377	0.0545	0.0537
90	130.29	129.48	137.35	54.05	54.58	58.59	12.45	10.09	8.94	0.0333	0.0470	0.0461
100	129.93	128.96	136.92	53.69	54.06	58.16	12.81	10.61	9.37	0.0264	0.0370	0.0384
110	129.73	128.67	136.63	53.49	53.77	57.87	13.01	10.9	9.66	0.0226	0.0315	0.0332
120	129.45	128.46	136.33	53.21	53.56	57.57	13.29	11.11	9.96	0.0172	0.0274	0.0279
130	129.3	128.25	136.05	53.06	53.35	57.29	13.44	11.32	10.24	0.0143	0.0234	0.0229
140	129.16	127.98	135.85	52.92	53.08	57.09	13.58	11.59	10.44	0.0117	0.0182	0.0193
150	129.03	127.79	135.67	52.79	52.89	56.91	13.71	11.78	10.62	0.0092	0.0146	0.0161
160	128.93	127.64	135.52	52.69	52.74	56.76	13.81	11.93	10.77	0.0073	0.0117	0.0134
170	128.82	127.53	135.35	52.58	52.63	56.59	13.92	12.04	10.94	0.0052	0.0096	0.0104
180	128.76	127.42	135.24	52.52	52.52	56.48	13.98	12.15	11.05	0.0040	0.0075	0.0084
190	128.71	127.35	135.14	52.47	52.45	56.38	14.03	12.22	11.15	0.0031	0.0061	0.0066
200	128.66	127.25	135.05	52.42	52.35	56.29	14.08	12.32	11.24	0.0021	0.0042	0.0050
210	128.6	127.19	134.95	52.36	52.29	56.19	14.14	12.38	11.34	0.0010	0.0031	0.0032
220	128.58	127.13	134.89	52.34	52.23	56.13	14.16	12.44	11.4	0.0006	0.0019	0.0021
230	128.56	127.07	134.83	52.32	52.17	56.07	14.18	12.5	11.46	0.0002	0.0008	0.0011
240	128.55	127.03	134.77	52.31	52.13	56.01	14.19	12.54	11.52	0.0000	0.0000	0.0000

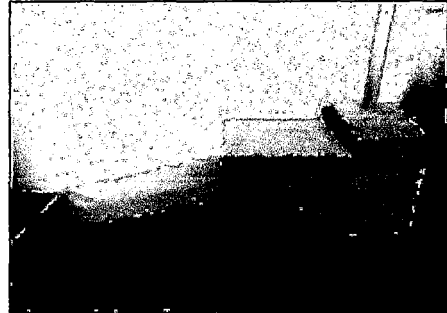
ANEXO N° 05:

ILUSTRACIONES DE FOTOS DEL SECADO SOLAR DE LA QUINUA

ENSAYOS PRELIMINARES

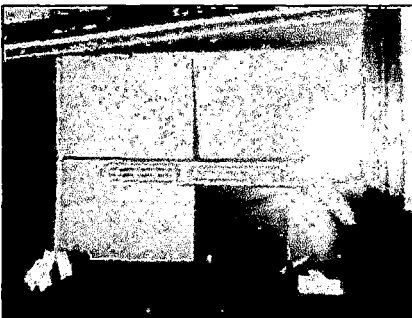


Secador mixto

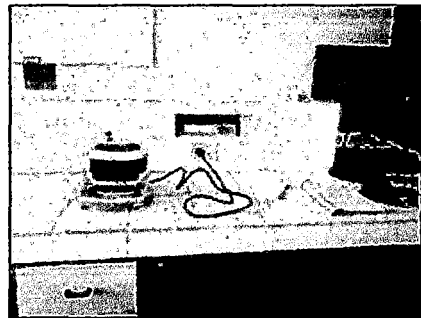


Secador de bandejas (indirecto)

SECADO SOLAR DE LA QUINUA

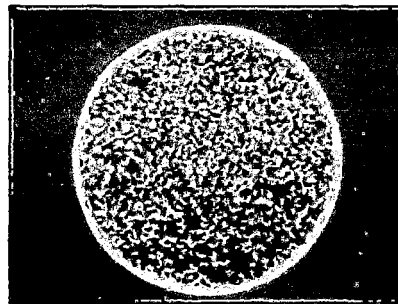
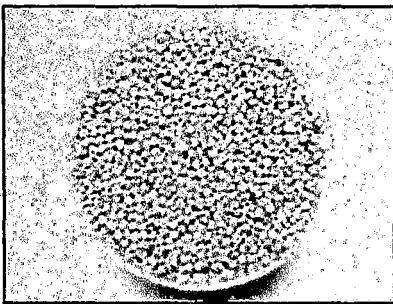


Secado solar mixto e indirecto



Determinación de humedad

EVALUACIÓN SENSORIAL



EVALUACIÓN SENSORIAL DEL COLOR DE LA QUINUA SECADA

Blanca de Junín

Pasankalla

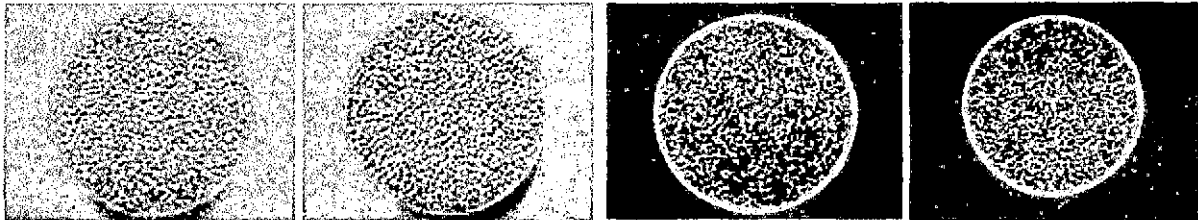
Secado mixto

Secado indirecto

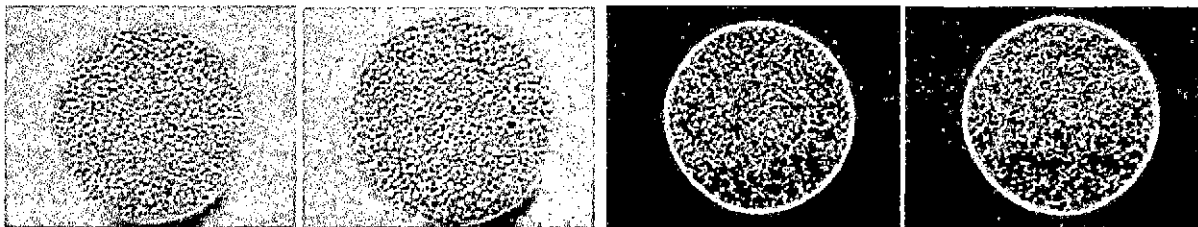
Secado mixto

Secado indirecto

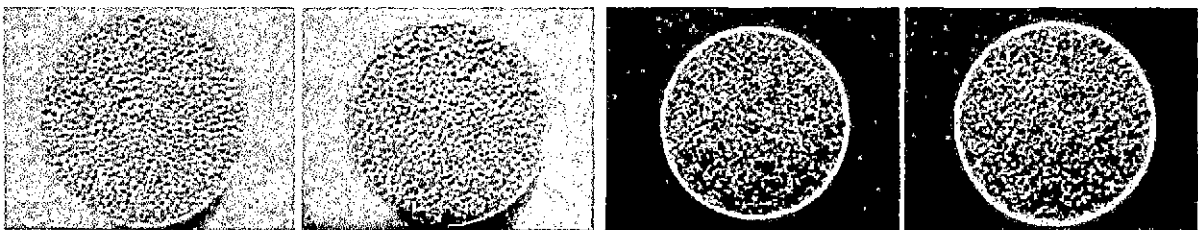
2 MILÍMETROS



4 MILÍMETROS



6 MILÍMETROS



8 MILÍMETROS

