

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



"IMPLEMENTACION DE CONTROL ADAPTIVO Y EVALUACION DEL SECADOR DE  
LECHO FUJO CON RECIRCULACIÓN DE AIRE"

TESIS

PRESENTADO POR:

Leandro VALENCIA YANQUI  
Jerónimo Martín SARCO BURGOS

PARA OPTAR EL TITULO DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

PUNO

PERU

2009

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL  
IMPLEMENTACION DE CONTROL ADAPTIVO Y EVALUACION DEL  
SECADOR DE LECHO FIJO CON RECIRCULACIÓN DE AIRE

## TESIS

PRESENTADO POR LOS BACHILLERES  
LEANDRO VALENCIA YANQUI  
JERONIMO MARTIN SARCO BURGOS

PARA OPTAR EL TITULO DE:

## INGENIERO AGROINDUSTRIAL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE

Ing. M.Sc. LIZANDRO G. FERNANDEZ CASTRO

PRIMER MIEMBRO

Ing. M.Sc. FLORENTINO V. CHOQUEHUANCA CACERES

SEGUNDO MIEMBRO

Ing. M.Sc. ALEJANDRO COLOMA PAXI

DIRECTOR DE TESIS

Ing. M.Sc. ROGER SEGURA PEÑA

ASESOR DE TESIS

Ing. M.Sc. THOMAS ANCCO VIZCARRA

PUNO

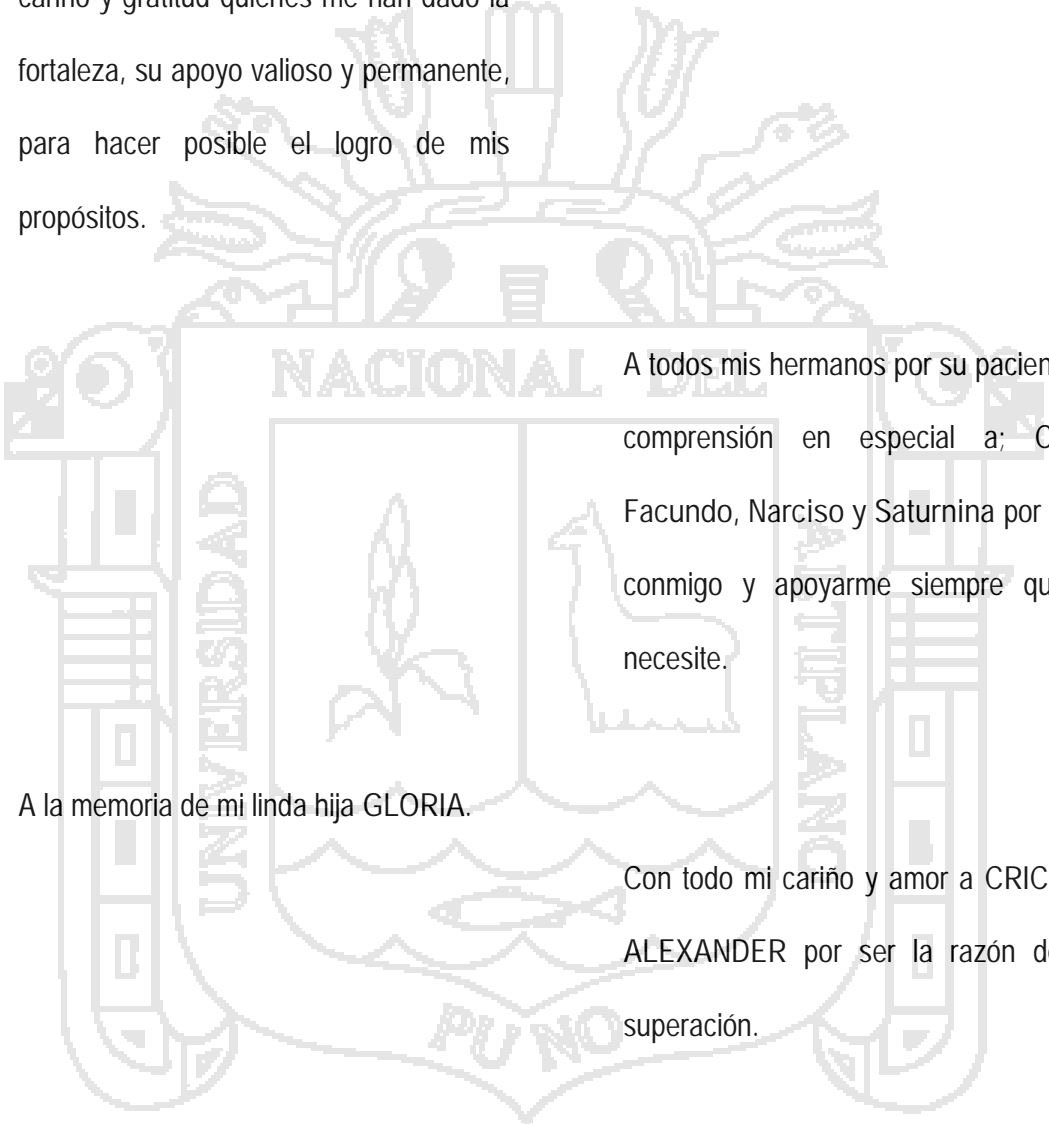
PERU

2009

**Área: Ingeniería y tecnología****Tema: Desarrollo de procesos y productos agroindustriales sostenibles y eficientes**

Completar esta etapa de mi vida ha sido fruto de grandes esfuerzos, y como no decirlo del incondicional apoyo de personas que tengo en mi corazón, y que son justamente a quienes quiero dedicar esta tesis.

A mis padres JUAN y SABINA con todo  
cariño y gratitud quienes me han dado la  
fortaleza, su apoyo valioso y permanente,  
para hacer posible el logro de mis  
propósitos.



A todos mis hermanos por su paciencia y  
comprensión en especial a; Clara,  
Facundo, Narciso y Saturnina por estar  
conmigo y apoyarme siempre que lo  
necesite.

A la memoria de mi linda hija GLORIA.

Con todo mi cariño y amor a CRICEL y  
ALEXANDER por ser la razón de mi  
superación.

LEANDRO

***“Los hombres que luchan un día son buenos; los que luchan un año son mejores, pero aquellos que luchan toda una vida, esos son los imprescindibles.”***

Bertold Brecht

A DIOS

Mi eterno agradecimiento a quienes me dieron la vida y todo su esfuerzo para mi formación profesional a mi querido padre LEONARDO y mi adorada madre ZENOVIA.

A la memoria de mi querida hermana  
NORMA VIRGINIA.

A mis hermanos Jose Luis, Nestor, Ana, Elizabeth, Yonatan y Arnie para que no desmayen en su lucha para conseguir un porvenir mejor.

JERONIMO MARTIN

*“Lo que somos es el regalo de Dios para nosotros. En lo que nos convertimos es nuestro regalo para Dios.”*

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Agrarias, E. P. de Ingeniería Agroindustrial, a los docentes de la Facultad y personal administrativo por nuestra formación profesional.

Al Ing.M.Sc. Thomas Ancco Vizcarra, nuestro más profundo agradecimiento por sus valiosas orientaciones, revisiones, y por su incondicional apoyo en la culminación de este trabajo de investigación.

Al Ing. M.Sc. Roger Segura Peña por la dirección y asesoramiento en el trabajo de investigación.

Al Ing. M.Sc. Florentino V. Choquehuanca Caceres, al Ing. M.Sc. Lizandro G. Fernandez Castro y al Ing. M.Sc. Alejandro Coloma Paxi por el apoyo, consejos transmitidos durante nuestra formación profesional y su apoyo para la culminación del presente trabajo.

A todas aquellas personas, familiares y amigos que directa e indirectamente nos apoyaron para cumplir nuestros objetivos.

LEANDRO

Finalmente gracias a María, a mi cuñada Marisbel y a mis sobrinos Mabel y Luigui que siempre estuvieron dispuestos a colaborar desinteresadamente.

## INDICE GENERAL

| CONTENIDO  | Pág. |
|--|------|
| RESUMEN.....   | 1    |
| I. INTRODUCCIÓN.....   | 2    |
| II. REVISION BIBLIOGRAFICA.....  | 4    |
| 2.1. CONTROL ADAPTIVO.....   | 4    |
| 2.1.1. Automatización.....   | 4    |
| 2.1.2. Sensores.....   | 5    |
| 2.1.3. Transductor.....  | 5    |
| 2.1.4. Características de los Sensores.....                                    | 5    |
| 2.1.4.1. Exactitud.....  | 5    |
| 2.1.4.2. Precisión.....  | 5    |
| 2.1.4.3. Rango de funcionamiento.....  | 6    |
| 2.1.4.4. Velocidad de respuesta.....   | 6    |
| 2.1.4.5. Calibración.....  | 6    |
| 2.1.4.6. Fiabilidad.....   | 6    |
| 2.1.5. Sensores de Temperatura.....  | 6    |
| 2.1.5.1. Termocuplas.....  | 6    |
| 2.1.5.2. Termoresistencias (RTD).....  | 7    |
| 2.2. LabVIEW (Instrumento Virtual de Laboratorio de Ingeniería de Trabajo).... | 8    |
| 2.2.1. Característica de LabVIEW.....  | 10   |
| 2.2.2. Ventajas de LabVIEW.....  | 10   |
| 2.3. HARDWARE DE ADQUISICIÓN DE DATOS (DAQ).....                               | 11   |
| 2.4. INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL.....  | 11   |
| 2.4.1. Interfaz con la computadora.....  | 13   |
| 2.5. CONSIDERACIONES EN LA IMPLEMENTACION DE CONTROL                           | 13   |
| ADAPTIVO DEL SECADOR.....  | 13   |
| A. Producción de aire caliente.....  | 13   |
| B. Impulsión de aire caliente.....   | 13   |
| C. Utilización del aire caliente.....  | 14   |
| D. Selección de tipos de termocuplas y calibración.....                        | 14   |

|            |  |    |
|------------|--|----|
| E.         | Galgas extensiométricos.....                     | 15 |
| 2.6.       | SECADO.....                                      | 15 |
| 2.6.1.     | Características del secado.....                  | 17 |
| 2.6.1.1.   | Parámetro del producto.....                      | 17 |
| 2.6.1.1.1. | Contenido en humedad.....                        | 17 |
| 2.6.1.1.2. | Contenido en humedad de equilibrio.....          | 18 |
| 2.6.1.1.3. | Humedad libre.....                               | 18 |
| 2.6.1.1.4. | Humedad crítica.....                             | 18 |
| 2.6.1.1.5. | Temperatura máxima.....                          | 19 |
| 2.6.1.1.6. | Pre- tratamiento.....                            | 19 |
| 2.6.1.2.   | Parámetros de aire.....                          | 19 |
| 2.6.1.2.1. | Contenido de humedad del aire.....               | 19 |
| 2.6.1.2.2. | Contenido de humedad de saturación del aire..... | 20 |
| 2.6.1.2.3. | Presión.....                                     | 20 |
| 2.6.1.2.4. | Humedad relativa.....                            | 20 |
| 2.6.2.     | Curvas de Velocidad de Secado.....               | 20 |
| A.         | Periodo de estabilidad (A-B).....                | 24 |
| B.         | Periodo de velocidad constante (B-C).....        | 25 |
| C.         | Contenido crítico de humedad (C).....            | 25 |
| D.         | Periodo de velocidad decreciente (C-D).....      | 26 |
| 2.6.3.     | Recirculación de aire.....                       | 27 |
| 2.6.4.     | Clasificación de secadores.....                  | 28 |
| 2.6.4.1.   | Secadores por convección.....                    | 28 |
| 2.6.4.2.   | Secadores por conducción.....                    | 29 |
| 2.6.4.3.   | Secadores por radiación.....                     | 30 |
| 2.6.5.     | Intercambiador de calor.....                     | 30 |
| 2.6.5.1.   | Resistencia eléctrica.....                       | 31 |
| 2.6.5.2.   | Aislamiento.....                                 | 31 |
| III.       | MATERIALES Y MÉTODOS.....                        | 32 |
| 3.1.       | MATERIALES.....                                  | 32 |
| 3.1.1.     | Materia prima.....                               | 32 |

|  |    |
|--|----|
| 3.1.2. Materiales empleados en la construcción del cámara de calentador de aire .....                                  | 32 |
| 3.1.3. Materiales empleados en la implementación de control adaptivo...  | 33 |
| 3.1.4. Materiales empleados en la implementación del modulo de secado.....   | 33 |
| 3.2. EQUIPO DE SECADO.....   | 34 |
| 3.2.1. Descripción del secador.....  | 34 |
| 3.2.1.1. Cámara de secado.....   | 35 |
| 3.2.1.2. Cámara calentador de aire.....  | 36 |
| 3.2.1.3. Resistencia eléctrica.....  | 36 |
| 3.2.1.4. Ventiladores.....   | 36 |
| 3.2.1.5. Ducto de recirculación de aire.....   | 36 |
| 3.2.1.6. Tablero de control.....   | 37 |
| 3.2.1.7. Balanza registradora de peso.....   | 37 |
| 3.2.1.8. Termocuplas.....  | 37 |
| 3.2.2. Equipos de control.....   | 37 |
| 3.3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL DE OPERACIONES PARA LA DETERMINACION DE LAS CURVAS DE PERDIDA DE PESO.....               | 39 |
| 3.3.1. Metodología experimental de quinua.....   | 39 |
| 3.3.2. Metodología experimental de plátano.....  | 41 |
| 3.3.3. Metodología de cálculos en el proceso de secado de quinua y plátano.....  | 43 |
| 3.4. BALANCE DE MATERIA.....   | 45 |
| 3.4.1. Balance de materia en el proceso de secado de la quinua.....  | 45 |
| 3.4.2. Balance de materia en el proceso de secado del plátano.....   | 46 |
| 3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL.....  | 47 |
| 3.5.1. Evaluación del proceso de secado en quinua y plátano.....   | 47 |
| 3.5.2. Diseño estadístico para evaluación de la calidad físico sensorial de los deshidratados de quinua y plátano..... | 47 |
| 3.5.3. Diseño experimental en la evaluación del secador implementado con control adaptivo.....                         | 48 |



|        |  |    |
|--------|--|----|
| IV.    | RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....  | 49 |
| 4.1.   | RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACION DE CONTROL ADAPTIVO<br>DEL SECADOR DE LECHO FIJO CON RECIRCULACIÓN DE AIRE.....                                      | 49 |
| 4.2.   | RESULTADOS DE PERDIDA DE PESO EN EL PROCESO DE<br>SECADO DE QUINUA Y PLÁTANO POR EFECTO DE LA<br>TEMPERATURA, VELOCIDAD DE AIRE Y RECIRCULACIÓN..... | 51 |
| 4.2.1. | Resultados de pérdida de peso en el proceso de secado de quinua  | 51 |
| 4.2.2. | Pruebas de comparaciones múltiples de Duncan para la velocidad<br>de aire de secado en pérdida de humedad en quinua.....                             | 55 |
| 4.2.3. | Resultados de pérdida de peso en el proceso de secado de plátano<br>por efecto de la temperatura, velocidad de aire y recirculación.....             | 59 |
| 4.2.4. | Pruebas de comparaciones múltiples de Duncan para la velocidad<br>de aire de secado en pérdida de humedad en plátano.....                            | 63 |
| 4.3.   | RESULTADOS DE VELOCIDAD DE SECADO POR EFECTO DE LA<br>RECIRCULACIÓN DE AIRE SOBRE LA VELOCIDAD DE SECADO DE<br>QUINUA Y PLÁTANO.....                 | 66 |
| 4.3.1. | Resultados de velocidad de secado por efecto de recirculación en<br>quinua.....  | 66 |
| 4.3.2. | Resultados de velocidad de secado por efecto de recirculación en<br>plátano.....   | 70 |
| 4.4.   | RESULTADOS DE LA CALIDAD FISICO SENSORIAL DE QUINUA Y<br>PLATANO .....   | 75 |
| 4.4.1. | Resultados de la calidad físico sensorial de quinua.....   | 75 |
| 4.4.2. | Resultados de la calidad físico sensorial de plátano.....  | 77 |
| V.     | CONCLUSIONES.....  | 81 |
| VI.    | RECOMENDACIONES.....   | 82 |
| VII.   | BIBLIOGRAFÍA.....  | 83 |
| VIII.  | ANEXO.....   |    |

## INDICE DE FIGURAS

| Figura     | Contenido   | Pág. |
|------------|---|------|
| Figura 1.  | Elementos de un instrumento virtual .....   | 12   |
| Figura 2.  | Curva de variación de humedad en función al tiempo.....   | 23   |
| Figura 3.  | Curva típica de velocidad de secado.....  | 24   |
| Figura 4.  | Partes del equipo de secado implementado de lecho fijo con<br>recirculación de aire.....  | 34   |
| Figura 5.  | Secador de lecho fijo con recirculación de aire implementado<br>con control adaptivo .....  | 35   |
| Figura 6.  | Diagrama de flujo del proceso de secado de quinua.....  | 40   |
| Figura 7.  | Diagrama de flujo del proceso de secado de plátano.....   | 42   |
| Figura 8.  | Balance total de materia en el secado de quinua.....  | 45   |
| Figura 9.  | Balance total de materia en el secado de plátano.....   | 46   |
| Figura 10. | Diseño experimental para la evaluación del secador<br>implementado con recirculación de aire en el secado de quinua<br>y plátano.....           | 48   |
| Figura 11. | Pérdida de humedad relativa en función al tiempo sin muestra...   | 50   |
| Figura 12. | Curvas de temperatura en función al tiempo sin muestra.....   | 50   |
| Figura 13. | Pérdida de peso en función al tiempo en el secado de quinua a<br>$V_1=0.5\text{m/seg.}$ y $T = 40$ y $50^\circ\text{C}$ sin recirculación.....  | 51   |
| Figura 14. | Pérdida de peso en función al tiempo en el secado de quinua a<br>$V_2=1\text{m/seg.}$ y $T = 40$ y $50^\circ\text{C}$ sin recirculación.....    | 52   |
| Figura 15. | Pérdida de peso en función al tiempo en el secado de quinua a<br>$V_1=0.5\text{m/seg.}$ y $T = 40$ y $50^\circ\text{C}$ con recirculación.....  | 53   |
| Figura 16. | Pérdida de peso en función al tiempo en el secado de quinua a<br>$V_2=1\text{m/seg.}$ y $T=40$ y $50^\circ\text{C}$ con recirculación.....      | 54   |
| Figura 17. | Pérdida de peso en función al tiempo en el secado de plátano a<br>$V_1=0.5\text{m/seg.}$ y $T = 40$ y $50^\circ\text{C}$ sin recirculación..... | 59   |
| Figura 18. | Pérdida de peso en función al tiempo en el secado de plátano a<br>$V_2=1\text{m/seg.}$ y $T = 40$ y $50^\circ\text{C}$ sin recirculación.....   | 60   |

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Figura 19. | Pérdida de peso en función al tiempo en el secado de plátano a $V_1=0.5\text{m/seg.}$ y $T = 40$ y $50^\circ\text{C}$ con recirculación.....  | 61 |
| Figura 20. | Perdida de humedad en función al tiempo en el secado de plátano a $V_2=1\text{m/seg.}$ y $T = 40$ y $50^\circ\text{C}$ con recirculación..... | 62 |
| Figura 21. | Velocidad de secado de quinua, $V_1= 0.5\text{m/seg.}$ y $T = 40$ y $50^\circ\text{C}$ sin recirculación.....                                 | 66 |
| Figura 22. | Velocidad de secado de quinua, $V_2= 1\text{m/seg.}$ y $T = 40$ y $50^\circ\text{C}$ sin recirculación.....                                   | 67 |
| Figura 23. | Velocidad de secado de quinua, $V_1 = 0.5\text{m/seg.}$ y $T = 40$ y $50^\circ\text{C}$ con recirculación.....                                | 68 |
| Figura 24. | Velocidad de secado de quinua, $V_2 = 1\text{m/seg.}$ y $T = 40$ y $50^\circ\text{C}$ con recirculación.....                                  | 69 |
| Figura 25. | Velocidad de secado de plátano, $V_1= 0.5\text{m/seg.}$ y $T = 40$ y $50^\circ\text{C}$ sin recirculación.....                                | 70 |
| Figura 26. | Velocidad de secado de plátano, $V_2= 1\text{m/seg.}$ y $T = 40$ y $50^\circ\text{C}$ sin recirculación.....                                  | 71 |
| Figura 27. | Velocidad de secado de plátano, $V_1= 0.5\text{m/seg.}$ y $T = 40$ y $50^\circ\text{C}$ con recirculación.....                                | 72 |
| Figura 28. | Velocidad de secado de plátano, $V_2= 1\text{m/seg.}$ y $T = 40$ y $50^\circ\text{C}$ con recirculación.....                                  | 73 |

## INDICE DE TABLAS

| Tabla    | Contenido  | Pág. |
|----------|--|------|
| Tabla 1  | Tipos de sensor de temperatura (termocuplas).....  | 7    |
| Tabla 2  | Registro de temperatura y humedad del secador implementado con control adaptivo sin muestra.....                                       | 49   |
| Tabla 3  | Prueba de comparaciones múltiple de Duncan para los efectos de velocidad de aire en el periodo de estabilización A-B (Punto B).....    | 55   |
| Tabla 4  | Prueba de comparaciones múltiple de Duncan para los efectos de velocidad de aire en el periodo constante B-C (Punto C).....            | 56   |
| Tabla 5  | Prueba de comparaciones múltiple de Duncan para los efectos de velocidad de aire en el primer periodo decreciente C-D. (Punto D).....  | 57   |
| Tabla 6  | Prueba de comparaciones múltiple de Duncan para los efectos de velocidad de aire en el segundo periodo decreciente D-E. (Punto E)..... | 57   |
| Tabla 7  | Prueba de comparaciones múltiple de Duncan para los efectos de velocidad de aire en el periodo de estabilización A-B. (Punto B).....   | 63   |
| Tabla 8  | Prueba de comparaciones múltiple de Duncan para los efectos de velocidad de aire en el periodo constante B-C. (Punto C).....           | 64   |
| Tabla 9  | Prueba de Duncan para análisis sensorial respecto a textura de quinua.....   | 76   |
| Tabla 10 | Prueba de Duncan para análisis sensorial respecto al color de plátano.....   | 77   |
| Tabla 11 | Prueba de Duncan para análisis sensorial respecto a la textura de plátano.....   | 79   |

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en la Universidad Nacional del Altiplano en el departamento de Puno, tuvo como objetivo general implementar un sistema de control adaptivo al secador de lecho fijo con recirculación de aire y evaluar con el secado de quinua ("Chenopodium quinoa willd") y plátano ("Enano gigante" AAA "Cavendish"), Para establecer las condiciones de funcionamiento de equipo se usó instrumentos de control, para determinar el efecto de la velocidad de aire ( $V_1=0.5$  m/seg y  $V_2=1$ m/seg) y temperaturas ( $T_1=40^\circ\text{C}$  y  $T_2=50^\circ\text{C}$ ) sobre la remoción de humedad y graficar curvas de secado y velocidad de secado características en los productos en estudio, se siguió la metodología descrita por Ocon y Tojo (1986), para evaluar el efecto de la recirculación los datos de las etapas de secado se evaluaron bajo un DCA (Diseño Completamente al Azar), así como también los datos del análisis de apreciación físico sensorial.

En la quinua y plátanos a temperatura de  $50^\circ\text{C}$  y flujos de  $V_1$  y  $V_2$  se observó que elimina con mayor rapidez la humedad adherida que a  $40^\circ\text{C}$  en  $V_1$  y  $V_2$ , en tanto la remoción para los factores en estudio afectó en la velocidad de secado dependiendo del tipo de producto. Concluyéndose que a velocidad de flujo de aire  $V_2 = 1$ m/seg y temperatura  $T_2 = 50^\circ\text{C}$  sin recirculación, el secado es más eficiente, determinándose gráficamente un tiempo de 30 minutos para la quinua y 150 minutos para el plátano para que lleguen a la humedad de almacenamiento y según las pruebas sensoriales el tratamiento con mejor apreciación sensorial fue la muestra M7 ( $V_2$  y  $T_2$  sin recirculación) en los productos deshidratados de quinua y plátano.

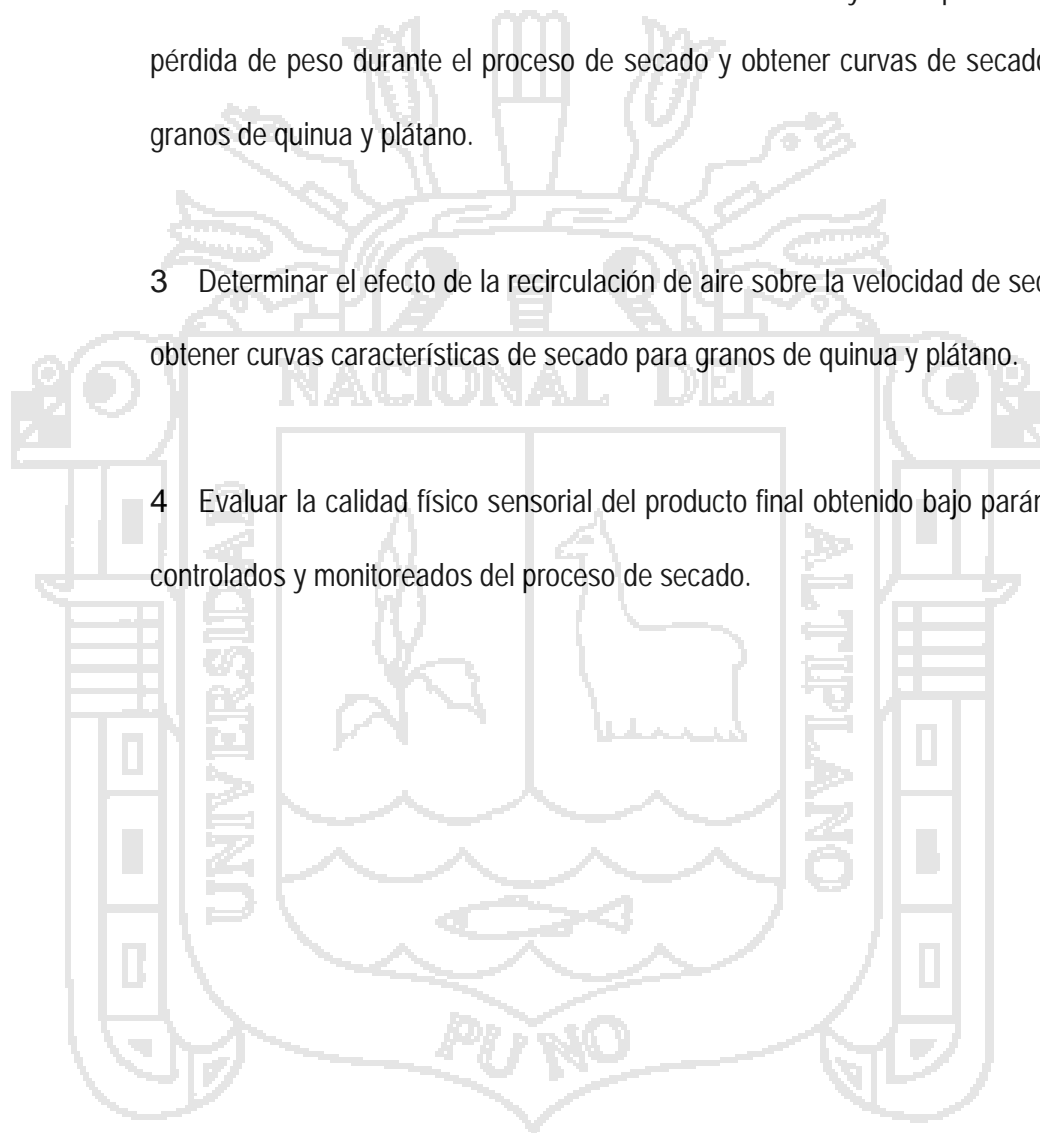
## I.INTRODUCCION

Actualmente en el mundo, se ve una aplicación de los ordenadores y de la microelectrónica en la industria y en la sociedad, esto trae consigo una implementación de controladores adaptivos en la industria de los alimentos ya que permite a través del manejo de la información (señales, datos, mediciones, etc.) verificar en tiempo real un proceso productivo. Sumándose a ello las exigencias de mercado crecientes en temas de calidad, donde exigen que todo producto cumpla con estándares para ser catalogados como aptos para el consumo humano, muchas veces fáciles de cumplir pero imposibles de alcanzar por la falta de tecnologías acordes a la realidad.

Frente a este panorama, surge la implementación del control adaptivo del secador de lecho fijo con recirculación de aire, con sistemas de control para garantizar la calidad de productos sometidos a secado y lograr productos acorde a exigencias de mercados, las cuales se pueden desarrollar con la implementación de estos módulos en la formación de profesionales y realizar investigaciones en ingeniería de secado, todo ello debido a que los productos deshidratados presentan ventajas de conservarse más tiempo, baja actividad de agua, y disminuyen costes de almacenamiento y transporte.

Para tal efecto los objetivos del presente trabajo fueron:

- 1 Implementación del control adaptivo de un secador de lecho fijo.
- 2 Determinar el efecto de la velocidad de aire de secado y la temperatura sobre pérdida de peso durante el proceso de secado y obtener curvas de secado para granos de quinua y plátano.
- 3 Determinar el efecto de la recirculación de aire sobre la velocidad de secado y obtener curvas características de secado para granos de quinua y plátano.
- 4 Evaluar la calidad físico sensorial del producto final obtenido bajo parámetros controlados y monitoreados del proceso de secado.



## II. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

### 2.1 CONTROL ADAPTIVO

El control adaptivo, es un tipo especial de control el cual consiste en adaptar los parámetros variables de un proceso a fin de mantener un funcionamiento adecuado de un sistema. Si un sistema de control cambia su comportamiento, debido a cambios de los parámetros del proceso, entonces debe ser ajustado. Por tanto, en el control adaptivo se adapta parámetros, ganancias las cuales pueden cambiar, por ejemplo con los cambios ambientales. (Martín y Rodellar, 2005).

#### 2.1.1 Automatización.

Es un sistema de control automático, por el cual el sistema verifica su propio funcionamiento, efectuando mediciones y correcciones sin la interferencia del ser humano, los dispositivos programados o automáticos pueden funcionar de forma independiente o semi independiente del control humano (Mendiburu, 2003).

Tradicionalmente el estudio de la operación de deshidratación se realiza a través de determinaciones de masa del producto durante el tiempo de tal manera de realizar posteriormente las correspondientes gráficas de secado. Estos experimentos pueden resultar tediosos, por la extensión que implican, el registro manual de los datos y el evidente error humano que se incorpora a la información generada Fito et. al., (2001). Una alternativa a la experimentación con fines de docencia ha sido la simulación computacional de procesos.



### 2.1.2 Sensores.

Un sensor es un dispositivo que se utiliza para medir una variable física de interés. Algunos de los sensores y transductores utilizados con más frecuencia son los calibradores de tensión (utilizados para medir la fuerza y la presión), los termopares (temperaturas), los velocímetros (velocidad) (Horta, 1982).

### 2.1.3 Transductor.

Un transductor es un dispositivo que permite la conversión de una señal física a una señal eléctrica y viceversa por ejemplo: fuerza, presión, temperatura y velocidad (Horta, 1982).

### 2.1.4 Características de los sensores.

Horta (1982), menciona las características que deben presentar los sensores son:

#### 2.1.4.1 Precisión.

La precisión de la medición debe ser tan alta como fuese posible. La precisión significa que existe o no una pequeña variación aleatoria en la medición de la variable. La dispersión en los valores de una serie de mediciones será mínima

#### 2.1.4.2 Rango de funcionamiento.

El sensor debe tener un amplio rango de funcionamiento y debe ser exacto y preciso en todo el rango.

#### 2.1.4.3 Calibración.

El sensor debe ser fácil de calibrar, el tiempo y los procedimientos necesarios para llevar a cabo el proceso de calibración deben ser mínimos, además, el sensor no debe necesitar una recalibración frecuente. El término desviación se aplica con frecuencia para indicar la pérdida gradual de exactitud del sensor que se produce con el tiempo y el uso, lo cual hace necesaria su recalibración.

#### 2.1.4.4 Velocidad de respuesta.

El transductor debe ser capaz de responder a los cambios de la variable detectada en un tiempo mínimo. Lo ideal sería una respuesta instantánea.

#### 2.1.4.5 Fiabilidad.

El sensor debe tener una alta fiabilidad, no debe estar sujeto a fallos frecuentes durante el funcionamiento.

#### 2.1.5 Sensores de Temperatura.

Estos elementos se utilizan en todo tipo de proceso que requiera indicación y/o control de la variable de temperatura, básicamente se encuentran dos tipos de sensores; Termocuplas y Termoresistencias (RTD) (Garrido, 2000).

##### 2.1.5.1 Termocuplas.

Termocupla, es un par de alambres de distinto material o composición, unidos en un extremo. En donde al aplicar temperatura en la unión se genera una tensión en milivoltios, tensión que aumenta proporcionalmente con el aumento de la temperatura.

Existen varios tipos de termocuplas, puesto que cualquier par de metales conformaría un tipo determinado. Sin embargo, la empírica ha llevado al uso de ciertos tipos estandarizados, a los que se les cita por una letra (las más típicas son las tipo J, K). Cada tipo difiere en el material de los metales, al diferir los materiales de construcción difieren los rangos de trabajo, el voltaje generado por unidad de grado y la máxima temperatura útil (antes que se funda) (Garrido, 2000).

Tabla 1. Tipos de sensor de temperatura (termocuplas).

| TIPO   | COMPOSICION                                  | RANGO T°    |
|--------|--|-------------|
| TIPO J | Fierro - Constantan                          | 0 a 600° C  |
| TIPO K | Níquel - Cromo Níquel                        | 0 a 1200 °C |
| TIPO S | 90% Platino 10% Rodio - 100% Platino         | 0 a 1600 °C |
| TIPO R | 87% Platino 13% Rodio - 100% Platino         | 0 a 1750 °C |
| TIPO T | Cobre - Constantan                           | 0 a 370 °C  |
| TIPO B | 70% Platino 30% Rodio - 94% Platino 6% Rodio | 0 a 1820 °C |

Fuente: Garrido, (2000).

#### 2.1.5.2 Termo resistencias (RTD).

Es la resistencia de los metales en función de la temperatura a que se encuentran. Para los metales preciosos, la dependencia de la resistencia eléctrica con la temperatura es prácticamente lineal, dentro de rangos más amplios. En particular, los estándares de sensores de temperatura para instrumentación más tradicionales se basan en la resistividad del platino, es el sensor conocido como "PT100"; la precisión de estos instrumentos puede llegar a la centésima de grado centígrado. Este tipo de sensores PT-100, es más utilizado en

el campo industrial, su nombre se debe a que está conformado por un fino hilo de platino el cual tiene un valor de resistencia de 100 Ohms a 0°C. y que al aumentar la temperatura aumenta la resistencia eléctrica (Garrido, 2000).

## 2.2 LabVIEW (Instrumento Virtual de Laboratorio de Ingeniería de Trabajo).

LabVIEW fue creado en 1976 por la empresa National Instruments (NI) con el propósito de funcionar sobre máquinas Apple Macintosh (MAC). Actualmente está disponible en los principales sistemas operativos utilizados en el mundo, como es Windows y Linux, entre otros. El 16 de abril de 2007, National Instruments anunció la disponibilidad de una nueva versión de LabVIEW, como es LabVIEW 8.2, éste software puede ser utilizado en la versión más nueva del sistema operativo de Microsoft (Windows Vista) (<http://www.ni.com>).

LabVIEW es un revolucionario entorno de desarrollo gráfico con funciones integradas para realizar adquisición de datos, control de instrumentos, análisis de medida y presentaciones de datos. LabVIEW le da la flexibilidad de un potente ambiente de programación, pero mucho más sencillo que los entornos tradicionales (National Instrument, 2003). Esta definición es bastante clara, el software LabVIEW tiene funciones específicas para acelerar el desarrollo de aplicaciones de medida, control y automatización, nos proporciona herramientas poderosas para que el usuario pueda crear aplicaciones sin líneas de código (lenguaje G) y nos permite colocar objetos ya construidos para lograr crear interfaces de usuario rápidamente. Después es uno mismo el que especifica las funciones del sistema construyendo diagramas de bloques, no podemos dejar de mencionar que LabVIEW se puede conectar con todo tipo de hardware incluyendo instrumentos de escritorio, tarjetas insertables y controladores lógicos programables (PLCs).

Principales usos:

- 1 Adquisición de datos.
- 2 Control de instrumentos.
- 3 Automatización industrial.
- 4 Diseño de control.
- 5 Diseño embebido.
- 6 Domótica.

(National Instrument, 2003).

LabVIEW (Instrumento Virtual de Laboratorio de Ingeniería de Trabajo), de National Instruments, es un sistema de programación gráfico diseñado para el desarrollo de distintas aplicaciones como el análisis de datos, adquisición de datos y el control de instrumentos (Vectron, 1996).

Así, LabVIEW facilita la tarea de adquisición, análisis y presentación de datos; por lo tanto, solo es necesario el enfoque en el problema original de adquisición o medición. La filosofía de programación del lenguaje "G", toma como base la estructura de un instrumento tradicional, el cual cuenta con un "panel frontal" (controles, botones e interruptores) para configurar el proceso de medición e indicadores para desplegar el valor medido; detrás del panel frontal tiene componentes electrónicos que desarrollan la función del instrumento, tales como la conversión de una cantidad física en una señal eléctrica para posteriormente convertirlo a un valor numérico.

Un Instrumento Virtual (VI) es un programa diseñado, en LabVIEW en este caso, para que tenga las mismas características de un instrumento tradicional. En particular, un VI tiene un

“panel frontal” desplegado en la pantalla de la computadora y este opera mediante el teclado o el mouse; el programa o código fuente, representa el ensamble de componentes electrónicos que desarrollan la función del VI; en LabVIEW es llamado “diagrama de bloques”. El cual se construye uniendo bloques (funciones) mediante líneas que llevan el flujo de datos (National Instrument, 2003).

### 2.2.1 Característica de LabVIEW.

Hoy en día científicos, ingenieros, técnicos y estudiantes utilizan LabVIEW, para desarrollar soluciones que respondan a sus interrogantes más exigentes, es por ello que damos fe que su principal característica es la facilidad de uso que posee, también resulta válido para personas con pocos conocimientos en programación (<http://www.ni.com>).

### 2.2.2 Ventajas de LabVIEW.

- Se reduce el tiempo de desarrollo de las aplicaciones al menos de 4 a 10 veces ya que es muy intuitivo y fácil de aprender.
- Dota de gran flexibilidad al sistema, permitiendo cambios y actualizaciones tanto del hardware como de software.
- Da la posibilidad a los usuarios de crear soluciones completas y complejas.
- Con un único sistema de desarrollo se integran las funciones de adquisición, análisis y presentación de datos.
- Tiene la posibilidad de incorporar aplicaciones escritas en otros lenguajes.

(<http://www.ni.com>).

### 2.3 HARDWARE DE ADQUISICIÓN DE DATOS (DAQ).

National Instruments sostiene que:

La adquisición de datos es el proceso de obtener o generar información de manera automatizada desde recursos de medidas analógicas y digitales como sensores y dispositivos bajo prueba. Utiliza una combinación de hardware y software basados en PC para brindar un sistema de medida flexible y definido por el usuario; los dispositivos DAQ son instrumentos, ideales para una gran variedad de aplicaciones, desde registros de datos simples hasta sistemas integrados, ya que han sido diseñados con el propósito general de medir señales de voltaje.

La tarjeta de adquisición de datos NI-USB6008, posee 8 canales de entrada  $\pm 10\text{v}$  y 2 salidas analógicas de 5v, 12 canales de entrada/salida digital y su convertidor interno tiene una resolución de 12 bits y una tasa de muestreo de 10,000 muestras por segundo. La tarjeta puede ser controlada mediante la aplicación computacional LabVIEW. Todas las señales son accesibles con tornillos en las terminales laterales. Conexión por USB. (<http://www.measurementcomputing.com>).

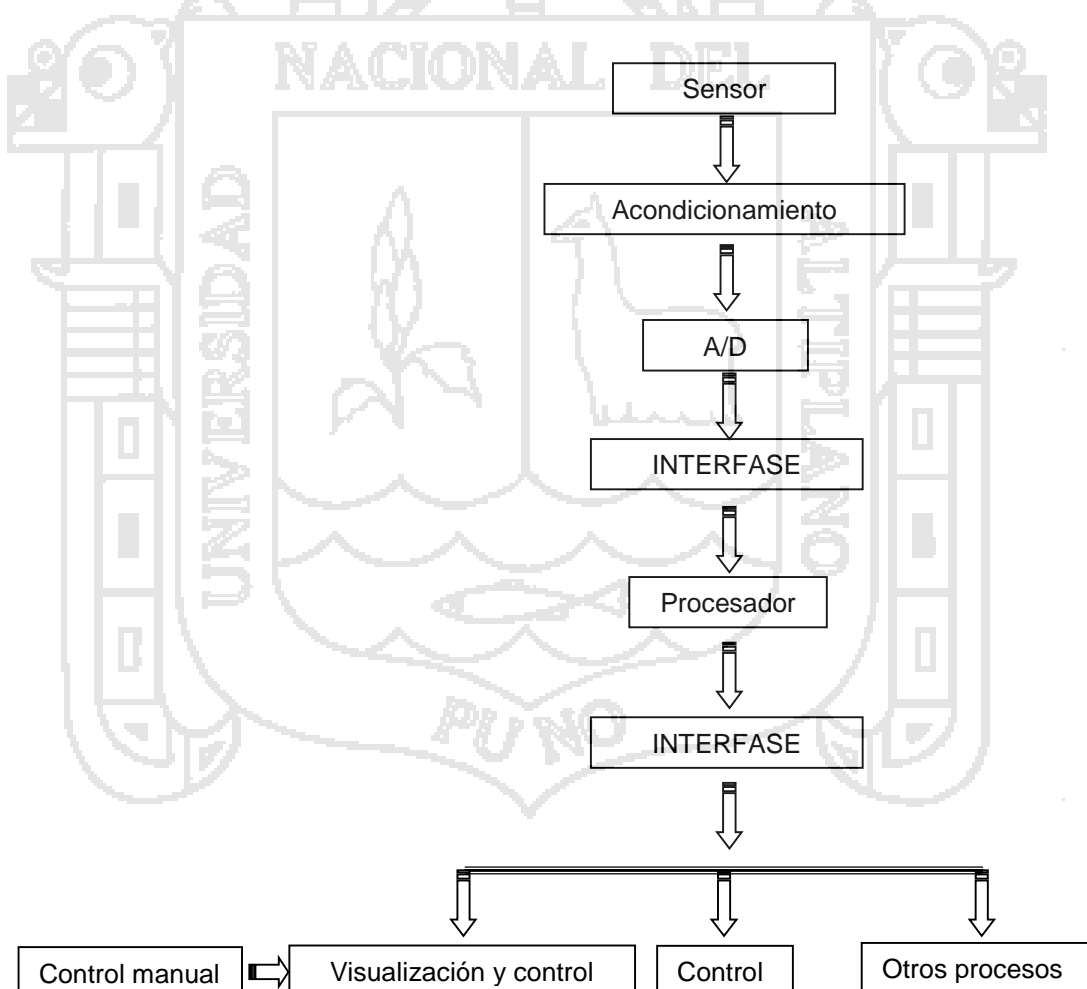
### 2.4 INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL

Un instrumento virtual es aquel que combina todos los elementos de un instrumento electrónico, sólo que éste tiene mayores capacidades, gracias a que cuenta con una interfaz ( USB, GPIB, SCSI, Bluetooth , etc.) entre el sistema físico de acondicionamiento de señal y la computadora. Un instrumento virtual tiene capacidades ilimitadas, ya que cuenta con el apoyo del procesador y aplicaciones de una computadora.

Un instrumento virtual consta de las siguientes partes:

1. Sensor.
  2. Sistema de acondicionamiento de señal.
  3. Convertidor análogo/digital.
  4. Interfase.
  5. Procesador.
  6. Interfase para poderse comunicar con un sistema de control, de visualización.
- (Goldberg, 2000).

Figura 1. Elementos de un instrumento virtual



Fuente: Goldberg, (2000).



#### 2.4.1 Interfaz con la computadora.

La etapa en dónde se hace la transformación de la señal analógica a digital es en la tarjeta de adquisición de datos NI-USB6008, ésta además de capturar la señal analógica obtenida de los amplificadores de instrumentación comunica al sistema electrónico con una computadora personal por medio de un puerto USB (Universal Serial Bus ) (Goldberg, 2000).

#### 2.5 CONSIDERACIONES EN LA IMPLEMENTACION DE CONTROL ADAPTIVO DEL SECADOR

Para el diseño y montaje de un dispositivo automático se realizó estudios de secado, donde se requiere registrar datos de las variables asociadas al proceso de deshidratación (evolución de la humedad, temperatura, velocidad del aire, entre otros), es necesario tener conocimiento de los siguientes elementos que integran el equipo:

##### F. Producción de aire caliente.

El diseño de colectores implica determinar las dimensiones básicas que lo definen como son: longitud, ancho y alto de manera que se logre calentar a través del flujo de aire necesario para el proceso de secado (Espinoza, 1981).

##### G. Impulsión de aire caliente.

En la circulación del flujo de aire a través del sistema este puede ser natural o forzado, manteniendo un flujo constante y una determinada velocidad, se tiene que decidirse sobre algunos aspectos como:

- ❖ Posición del ventilador que puede ser a la entrada o salida de la cámara de secado.
- ❖ Potencia necesaria en el eje del ventilador.
- ❖ Selección del motor.
- ❖ Construcción o selección del ventilador.

Se recomienda que el valor de Reynolds sea alto para conseguir flujos de régimen turbulento, para el caso del flujo forzado generalmente se recomienda velocidades del flujo de aire del orden de 0.8 a 3 m/seg (Díaz, 1987).

#### H. Utilización del aire caliente.

Bazán y Espinoza (1980), menciona que para determinar las dimensiones de la cámara de secado se debe conocer previamente el flujo de masa de aire a través del sistema, la velocidad de aire dentro de la cámara de secado y la temperatura óptima de secado. Conociendo estos parámetros se procede a efectuar los cálculos respectivos para el diseño final de la cámara de secado.

#### I. Selección de tipos de termocuplas y calibración.

Dentro de la selección de un sensor, se deben considerar diferentes factores, tales como: la forma de la carcasa, distancia operativa, datos eléctricos y conexiones. Las termocuplas J y K junto con los Pt100 son los sensores de temperatura de uso industrial más comunes, económicos y fáciles de reemplazar que existen.

Cualquier sensor necesita estar calibrado para ser útil como dispositivos de medida. La calibración es el procedimiento mediante el cual se establece la relación entre la variable medida y la señal de salida convertida ( Horta, 1982).

#### J. Galgas extensiométricas.

Al aplicar una fuerza sobre un hilo conductor o un semiconductor se presenta una variación en su resistencia eléctrica. Este principio permite realizar mediciones de fuerzas muy tenues que provoquen pequeñas deformaciones en el conductor.

Las galgas extensiométricos son transductores pasivos, que aplicados sobre un prototipo, permiten medir la fuerza ejercida sobre él a partir de la deformación resultante. Así, fuerzas de compresión, tracción o torsión, aplicadas sobre materiales elásticos, generan deformaciones que son transmitidas a la galga, respondiendo ésta con una variación de su propia resistencia eléctrica (Ferrero, 1994).

#### 2.6 SECADO

El Secado generalmente se refiere a la remoción de líquido de un sólido por evaporación o en forma de vapor con aire (Perry, 1984 ; Geankoplis, 1998); al ser un método de conservación de los alimentos frena la degradación al privar a los microorganismos de la humedad que necesitan para su actividad retrasando las reacciones químicas que puedan ocasionar en los alimentos, la deshidratación ocasiona generalmente una pérdida de peso y volumen, lo que es una ventaja para el transporte y su almacenamiento, da la posibilidad de utilizar en procesos posteriores (Ranken, 1993); puede ocurrir una oxidación y los alimentos para ser estables tienen que tener un contenido de humedad mínimo que permita proteger a los mismos (Nuñez, 1998); por ejemplo en frutas y vegetales, con el secado se puede lograr

una reducción en volumen entre 75% y 85%, dependiendo de la porosidad del alimento (Crapiste, 1997).

Mujumdar (2000), menciona que cuando un sólido húmedo es sometido a un proceso de secado, se presentan dos subprocesos:

1. Transferencia de la humedad interna del sólido hacia la superficie de éste y su subsecuente evaporación. El movimiento de la humedad dentro del sólido es una función de la naturaleza física del sólido, su temperatura y su contenido de humedad.

2. Transferencia de energía en forma de calor del ambiente que rodea al sólido para evaporar la humedad de su superficie. Este segundo subproceso depende las condiciones externas de temperatura, humedad y flujo del aire, presión, área de exposición y el tipo de secador empleado.

En el proceso de secado, cualquiera de los subprocesos descritos puede ser el factor limitante que gobierne la velocidad del secado, a pesar de que ambos subprocesos ocurren simultáneamente durante el ciclo de secado, los factores importantes que afectan la calidad del proceso y evitan las pérdidas físicas, estructurales, químicas y nutricionales del alimento son la velocidad y uniformidad del secado (Mujumdar, 2000); por ello que un proceso de secado es óptimo cuando el tiempo en el que se lleva a cabo es el mínimo, utilizando un mínimo de energía, que está estrechamente relacionado con la eficiencia energética del secador empleado (Crapiste, 1997).

## 2.6.1 Características del secado:

Se debe de hacer una elección concerniente al parámetro que debe regir el proceso, ya que estos parámetros son de fundamental importancia. Debemos comprender que un buen proceso de secado debe ser tal, que nos permita realizar el proceso de secado en el tiempo más corto posible con el mínimo gasto de calor y aire, para conservar enteramente la preservación de las cualidades del grano; teniendo en cuenta los propósitos comerciales, consideraciones tecnológicas y la necesidad de mantener el alimento y el valor nutritivo del producto (Herrera, 1996).

### 2.6.1.1 Parámetros del producto

#### 2.6.1.1.1 Contenido en humedad

El contenido de humedad de un producto puede expresarse sobre la base del peso húmedo o la base del peso seco, este último se emplea frecuentemente en los cálculos de secado.

Desde el punto de vista del contenido de humedad inicial los productos suelen clasificarse en cuatro grupos:

- ❖ Muy altos  $H_i > 80\%$  (hojas de tabaco y hortalizas).
- ❖ Alto  $H_i 60- 80\%$  (café, mandioca).
- ❖ Intermedio  $H_i 35 -60\%$  (cacao, maní).
- ❖ Bajo  $H_i 15-35\%$  (cereales y oleaginosas).

(Rossi y Gonzalo, 1980).

#### 2.6.1.1.2 Contenido en humedad de equilibrio

En la desecación de sólidos es importante distinguir los materiales higroscópicos de los no higroscópicos. Un material higroscópico absorbe y retiene un porcentaje concreto de humedad en determinadas condiciones de humedad de aire. La humedad así retenida se llama contenido de humedad de equilibrio, por que se encuentra en estado de equilibrio con el vapor de agua del aire que lo rodea. El contenido de humedad de equilibrio tiene una importancia especial en la desecación, porque representa un contenido de humedad límite para condiciones dadas de humedad y temperatura del aire (Perry y Chilton, 1981).

#### 2.6.1.1.3 Humedad libre

La humedad libre de un sólido, con respecto al aire en condiciones determinadas es la diferencia entre la humedad del sólido y la humedad de equilibrio con el aire en las condiciones dadas. Es decir es la humedad que puede perder el sólido después de un contacto suficientemente prolongado con aire en condiciones dadas y constantes y depende tanto de la humedad del sólido como de la humedad relativa del aire (Perry y Chilton, 1981).

#### 2.6.1.1.4 Humedad crítica

Es el contenido de humedad que tiene el producto al secarse en el momento en que hay una transición en la velocidad de secado, es decir del momento de secado a velocidad constante pasa a velocidad decreciente. El punto en el cual termina la intensidad constante y empieza a disminuir la intensidad de la desecación se llama contenido crítico de humedad (Perry y Chilton, 1981).

#### 2.6.1.1.5 Temperatura máxima

Cada producto soporta una temperatura máxima de secado sin cambiar sus propiedades nutricionales. La misma que depende del tipo del producto, la humedad y el grado de madurez también depende del tiempo de secado del producto (Perry y Chilton, 1981).

#### 2.6.1.1.6 Pre- tratamiento

Normalmente antes de someter el producto al proceso de secado se realiza operaciones previas como: lavado, pelado, cortado, escaldado, cocido entre otros con la finalidad de evitar el efecto de factores nocivos. Lograr un secado uniforme en muchos casos debe ser tratado para evitar el pardeamiento enzimático o la proliferación de microorganismos, fijar y conservar el color y acelerar el secado por rotura de las células (C.E.R. UNI, 1991).

#### 2.6.1.2 Parámetros de aire

En todo proceso de secado tradicional, solar técnico o convencional el aire encargado de evaporar el agua juega un rol fundamental de modo que es importante identificar los parámetros que se caracterizan, las condiciones del aire usado para secar (P.S.S. informe 03, 1984).

##### 2.6.1.2.1 Contenido de humedad del aire

Suele llamarse también como humedad absoluta del aire, la misma que se define como la razón de la masa de vapor de agua en el aire y la masa de aire seco (P.S.S. informe 03, 1984).

#### 2.6.1.2.2 Contenido de humedad de saturación del aire

Es la máxima cantidad de agua en estado de vapor que soporta una masa de aire seco sin precipitar. El contenido de humedad de saturación del aire está en función de la temperatura; el aire caliente puede contener mas vapor de agua que el frio. Si se calienta aire debe cuidarse que la temperatura alcanzada no supere la temperatura máxima que soporta el producto (P.S.S. informe 03, 1984).

#### 2.6.1.2.3 Presión

Llamada también presión barométrica es la presión ejercida por el aire en el medio atmosférico que nos rodea, la misma que se mide con el barómetro (P.S.S. informe 03, 1984).

#### 2.6.1.2.4 Humedad relativa

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

#### 2.6.2 Curvas de velocidad de secado

La velocidad del proceso secado depende de sus características higroscopicas, contenido de humedad inicial y el contenido de humedad adecuada para la conservación. También depende las condiciones de temperatura y flujo de aire a que es sometido el producto (Geankoplis, 1998).



La variación del contenido de humedad del producto ( $x$ ), con el tiempo ( $t$ ) se presenta en “curvas de secado”, estas curvas se obtienen experimentalmente y son un paso fundamental para comparar los sistemas de secado, la curva de secado se obtiene llevando sobre un diagrama en función del tiempo, el contenido en agua del producto o bien la velocidad del secado. También se puede representar la velocidad de secado en función al contenido en agua del producto (Cheftel y Besancon, 1993).

La velocidad de secado es definida como la pérdida de humedad del sólido húmedo en la unidad de tiempo, más exactamente por el coeficiente diferencial ( $-dx/dt$ ) operando en condiciones constantes de secado, es decir con aire cuyas condiciones (temperatura, densidad, humedad y velocidad) permanezcan constantes con el tiempo (Ocon y ToJo, 1986).

Análíticamente la velocidad de secado se refiere a la unidad de área de superficie de secado de acuerdo a la ecuación.

$$W = -\frac{Ls}{A} \left( \frac{dX}{dt} \right)$$

Donde:

$Ls$  = Peso del sólido seco.

$A$  = Área de la superficie expuesta.

$W$  = Velocidad de secado.

Los datos que se obtiene de un experimento de secado por lotes generalmente se expresan como peso total ( $w$ ) del sólido húmedo a diferentes tiempos ( $t$  en horas) en el

periodo de secado (Ocon y Tojo, 1986; Geankoplis, 1998). Estos valores pueden convertirse a datos de velocidad de secado con los siguientes procedimientos.

Primero se recalculan los datos, si  $W$  es peso del sólido húmedo en Kilogramos totales de agua más sólido seco y  $W_s$ , es el peso del sólido seco en Kg.

$$X_t = \frac{(w - w_s)}{w_s} \frac{\text{Kg totales de agua}}{\text{Kg de sólido seco}}$$

Habiendo establecido las condiciones de secado constante, se determina el contenido de humedad en equilibrio  $X^*$  Kg. Humedad de equilibrio/ Kg sólido seco.

Con esto se procede a calcular el valor del contenido de humedad libre ( $X$ ) en Kg. De agua libre / Kg. De sólido seco para cada valor de  $X_t$ .

$$X = X_t - X^*$$

Usando los datos calculados en la ecuación anterior, se traza una gráfica del contenido de humedad libre ( $x$ ) en función del tiempo ( $t$ ) como se muestra en la Figura 2 para obtener una curva de velocidad de secado a partir de esa gráfica se mide las pendientes de las tangentes de la curva la cual proporciona valores de  $dx/dt$  para ciertos valores de  $t$ , se calcula entonces la velocidad  $W$  para cada punto con la expresión.

$$W = -\frac{L_s}{A} \left( \frac{dX}{dt} \right)$$

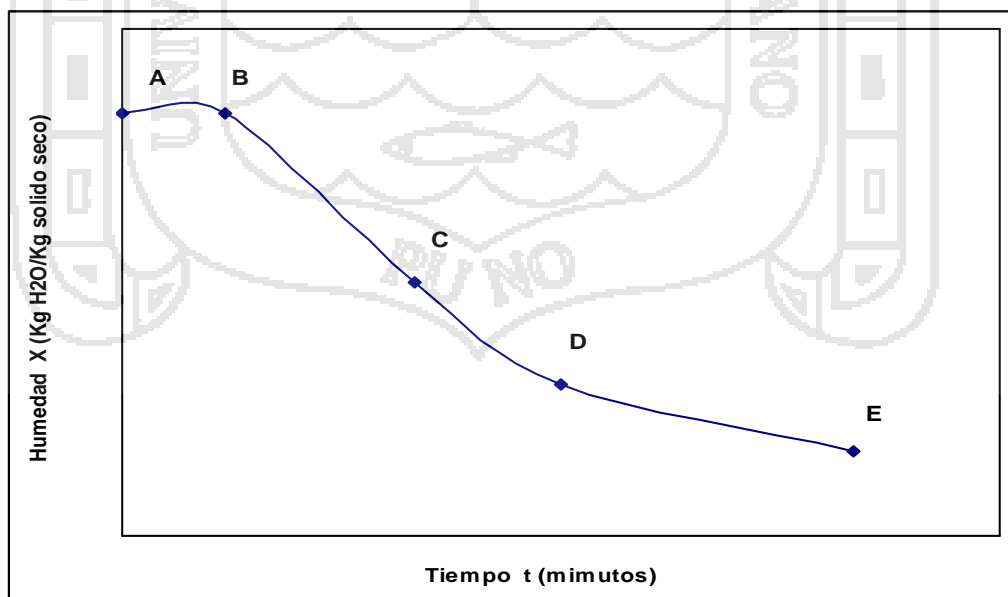
Por consiguiente la curva de velocidad de secado se obtiene graficando  $W$  en función del contenido de humedad tal como se aprecia en la Figura 3

Para el estudio de fenómenos de secado deben mantenerse constantes las magnitudes que tienen influencia tales como: temperatura, humedad y velocidad de aire que se desplaza sobre la sustancia con respecto a la del producto para que el estado del aire no se vea influenciado por el calor cedido al producto y la humedad que ha absorbido (CICEE.1995).

La característica esencial del proceso de secado es la eliminación de un líquido por conversión en vapor, que se separa del sólido. En la práctica la energía necesaria para evaporar el líquido es suministrado en forma de calor (Nonhebel y Moss, 1985).

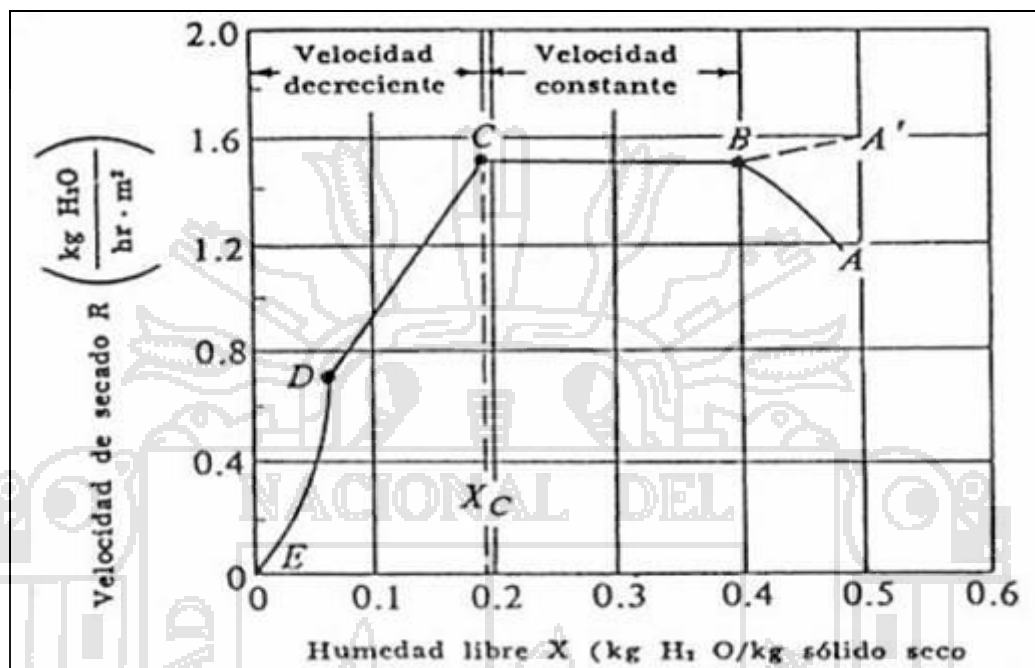
Todo proceso de secado involucra el conocimiento y evaluación de los periodos y fases de secado presentados en la Figuras 2 y 3, siendo estas las siguientes:

Figura 2. Curva de variación de humedad en función al tiempo.



En la Figura 3 podemos observar las etapas de una curva de velocidad de secado como:

Figura 3. Curva típica de velocidad de secado.



E. Período de estabilidad (A-B).

Es conocida como la fase de estabilización porque las condiciones de la superficie de secado (producto) se ponen en equilibrio con las del aire de secado. Es una fase breve y generalmente de poca importancia, se da una evaporación superficial.

El período de secado representado por el segmento AB de las curvas de la Figura 2 es el lapso de estado inestable durante el cual la temperatura del sólido alcanza su valor de estado estable. Aunque la forma que se muestra es típica y es posible encontrar casi siempre cualquier forma, y AB pueda presentarse a una velocidad descendente, así como la velocidad ascendente que se muestra (Geankoplis, 1998).

#### F. Periodo de velocidad constante (B-C).

Conocido como fase de "velocidad de secado constante" debido que la pérdida de peso o evaporación del agua es constante, debido al mecanismo de migración del agua del interior al exterior que se da a una velocidad igual a la de evaporación en la superficie, pasando el agua a través de una película de aire inmóvil que rodea al producto, hacia la corriente del aire de secado.

La temperatura del sólido y la velocidad de secado pueden aumentar o disminuir para alcanzar esa condición de estado estable. El estado estable determinará que la temperatura de la superficie sólida húmeda es igual a la temperatura de bulbo húmedo del medio de secado. La temperatura dentro del sólido sometido al secado también tenderá la concordancia puede ser imperfecta debido al retraso en el movimiento de masa y calor. Una vez que esta temperatura alcanza la temperatura del bulbo húmedo del gas se mantiene casi estable y la velocidad de secado permanece constante.

Esto se conoce como período de velocidad constante de secado. Este período termina cuando el sólido alcanza el contenido de humedad crítica. Después de este punto la temperatura de la superficie aumenta y la de secado decae con rapidez (Mc Cabe y Smith, 1997).

#### G. Contenido crítico de humedad (C).

El contenido de humedad existente al final del período de velocidad constante es conocido como contenido crítico de humedad, en este punto, el movimiento de líquido hacia la superficie sólida es insuficiente para reemplazar al líquido que está siendo evaporado. En consecuencia, el contenido crítico de humedad depende de la facilidad, de movimiento de la

humedad a través del sólido en relación con la velocidad de secado. En las mediciones experimentales efectuadas bajo condiciones simuladas de producción, a fin de determinar  $X'_c$  (el contenido de humedad al final del período de velocidad constante) depende de la estructura de los poros de los sólidos, el espesor de la muestra y la velocidad del secado (Foust, 1996).

#### H. Período de velocidad decreciente (C-D).

Foust (1996) y Geankoplis (1998), indican que el primer período de velocidad decreciente empieza al concluir los períodos de velocidad constante, al contenido crítico de humedad. Si el contenido final de humedad es superior al contenido crítico para las condiciones especificadas, todo el proceso de secado se desarrollará en condiciones de velocidad constante, El calor para la evaporación se transfiere a través del sólido hasta la zona de vaporización. El agua vaporizada atraviesa el sólido para llegar hasta la corriente de aire, por otro lado si el contenido inicial de humedad es inferior al crítico, todo el proceso de desecación se desarrollará en el período de velocidad decreciente. Por lo común este período se divide en dos zonas:

- La desecación de superficie no saturada.
- Aquella en que el movimiento interno de la humedad es el que ejerce el control.

Conforme prosigue la desecación, se llega a un punto en que la superficie de evaporación es insaturada. El plano de evaporación desplaza dentro del sólido y el proceso de secado entra al segundo período de velocidad decreciente. La velocidad de secado está regida por el movimiento interno de la humedad y las influencias de las variables externas que van en disminución. Cuando se efectúan una desecación a contenidos reducidos de humedad, este

período predomina casi siempre en la determinación del tiempo total de secado (Foust, 1996).

### 2.6.3 Recirculación de aire.

La recirculación del aire permite aprovechar parte de la energía que arrastra consigo el aire húmedo de salida para la operación de secado. Además se puede regular la capacidad secadora del aire regulando el caudal de recirculación, con lo que aumenta la versatilidad del equipo, aunque cuanto mayor sea el grado de mezcla, más disminuirá la capacidad deshidratante del aire y el secado se realiza a velocidad más lenta (Marcilla, 1999).

La mayoría de las secadoras expulsan hacia el exterior el aire usado que ha atravesado la masa de los granos. Parte de este aire está caliente y poco saturado de humedad. Si fuera recirculado, es decir, si se lo utilizara nuevamente para aprovechar ese calor residual y esa escasa saturación incorporándolo a la corriente de aire que ingresa al ventilador o al quemador, o empleándolo para precalentar los granos húmedos, se puede conseguir una apreciable reducción del consumo energético, pues se elimina gran parte de la instauración de humedad del aire, permitiendo que este sea expulsado bien saturado. En otras palabras más técnicas, la secadora se hace más eficiente térmicamente. La recirculación parcial es más simple y consiste en enviar el aire usado hacia una cámara de mezclado situada entre la cámara de combustión o resistencia y la precámara de secado. Si el aire reciclado está a 50°C y el aire caliente a 130°C, la mezcla puede estar a 110°C, La recirculación total es más compleja y está relacionado con el empleo de temperaturas diferentes (Carlos A. de Dios, 2000).

#### 2.6.4 Clasificación de secadores:

Debido a que la humedad es uno de los factores que contribuyen seriamente a la descomposición de alimentos, se han diseñado secadores orientados al secado de cierto tipo de alimentos. Por ejemplo: granos, polvos, carne, frutas y vegetales, entre otros. Dichos dispositivos constan con las características necesarias para lograr el secado óptimo (Geankoplis, 1998).

La clasificación para los secadores es muy amplia, sin embargo, la más general esta dada por el método con el que se lleva a cabo la transferencia de calor, que puede ser:

- ❖ Convección.
- ❖ Conducción.
- ❖ Radiación.

A su vez, se subdividen de acuerdo al tipo de contenedor del secador: charolas, tambor, túnel, aspersión, etc.

##### 2.6.4.1 Secadores por convección.

Los secadores cuya transferencia de calor es por convección son utilizados para secar partículas y alimentos en forma laminar o en pasta. El calor se suministra a través de aire caliente o gas, el cual fluye sobre la superficie del sólido. El aire, los gases inertes, el vapor sobrecalentado o gases de combustión directa pueden ser utilizados en sistemas de secado convectivos (Mujumdar, 2000).



Según Geankoplis (1998), algunos ejemplos de secadores convectivos o directos son:

Secadores en bandejas o charolas: Funciona mediante un ventilador que recircula aire calentado con vapor paralelamente sobre la superficie de las charolas, también puede usar calor eléctrico.

Secadores de túnel: Suelen ser compartimientos de bandejas que operan en serie, en donde las bandejas se desplazan continuamente por un túnel con gases calientes que pasan sobre la superficie de cada bandeja. Un ventilador extrae cierta cantidad de aire hacia la atmósfera.

Secadores rotatorios: Consta de un pequeño cilindro que gira sobre su eje con una ligera inclinación. El calentamiento se lleva por contacto directo de gases calientes mediante un flujo a contracorriente, también puede ser a través de la pared calentada del cilindro.

Secadores por aspersión: Un líquido se atomiza o rocía en una corriente de gas caliente para obtener una lluvia de gotas finas. El agua se evapora de dichas gotas con rapidez, y se obtienen partículas secas de sólido que se separan de la corriente de gas. Las partículas obtenidas son porosas y ligeras.

#### 2.6.4.2 Secadores por conducción.

Los secadores por conducción o indirectos son apropiados para productos de poco espesor o para sólidos con alto grado de humedad. El calor para evaporación se suministra a través de superficies calientes (estáticas o en movimiento) (Mujumdar, 2000).

Según Geankoplis (1998), algunos ejemplos de secadores indirectos son:

Secadores de tambor: Consta de un tambor de metal calentado que gira, en cuyo interior se evapora una capa delgada de líquido o suspensión hasta secar, después se raspa el sólido seco.

Secadores indirectos al vacío con anaqueles: Es un gabinete cerrado con bandejas o anaqueles que opera al vacío. El calor se conduce a través de las paredes metálicas y por radiación entre los anaqueles. Se usa principalmente para materiales sensibles a la temperatura o que se oxiden fácilmente.

#### 2.6.4.3 Secadores por radiación.

El secado por radiación se lleva a cabo mediante radiación electromagnética cuya longitud de onda se encuentra dentro del rango de espectro solar y microondas (Mujumdar, 2000).

Secadores solares: Esta formado principalmente por un gabinete cubierto cuya tapa consta de un material translucido que deja pasar los rayos del sol, de ésta manera se utiliza la energía de los rayos en forma de calor para lograr la evaporación de la humedad del sólido. Sin embargo, el funcionamiento de este secador depende de las condiciones climáticas y los tiempos de secado suelen ser largos, además de tener una capacidad de producción pequeña, aun cuando se trabaje en equipo (C.E.R. UNI, 1991).

#### 2.6.5 Intercambiador de calor.

La transferencia de calor entre dos fluidos casi siempre se lleva a cabo en intercambiadores de calor. El tipo más común es uno en el cual el fluido caliente y el frío no entran en contacto directo el uno con el otro sino que están separados por una pared de tubos o una

superficie plana. La transferencia se efectúa por convección desde el fluido caliente hacia la superficie de los tubos o placas por conducción y luego por convección al fluido frío (Geankoplis, 1998).

#### 2.6.5.1 Resistencia eléctrica.

Básicamente la resistencia no es más que un conductor imperfecto que presenta una dificultad intrínseca al paso de la corriente eléctrica. Su mayor o menor oposición de la corriente depende del material con el que se haya construido. La resistencia de un conductor se define como la dificultad que ofrece al paso de la corriente eléctrica a través del mismo.

#### 2.6.5.2 Aislamiento.

El aislamiento debe cumplir los requisitos de bajo peso, baja conductividad y bajo costo, por otro lado, el nivel de las temperaturas a que estará expuesto no debe ser muy alto.

Se disponen de materiales tales como el tecnopor, lana de vidrio, poliuretano y en algunos diseños se emplea en el mismo terreno como aislamiento, en el caso de las industrias textiles estas pueden usar los desechos de la lana de ovino (Espinoza, 1981).

Loayza y Velásquez (2007), menciona que la fibra de vidrio es inorgánica y puede soportar altas temperaturas sin pérdida apreciable de la resistencia, la fibra de vidrio posee una mayor relación resistencia-peso a su límite elástico que otros materiales comunes para la ingeniería, llamados aislantes flexibles son aislantes térmicos consistentes en un solo material o en una estructura compuesta. La efectividad del aislante se juzga sobre la base de la conductividad térmica y depende de la estructura física y química del material.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

La parte experimental y de implementación del control adaptivo se llevó a cabo en el laboratorio de post cosecha de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano.

#### 3.1. MATERIALES

##### 3.1.1. Materia prima:

- ❖ Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) variedad blanca de Juli, adquirido de INIA.
- ❖ Plátano de la variedad (*"Enano gigante" AAA "Cavendish"*), provenientes de la provincia de Sandia, distrito de San Juan del Oro del departamento de Puno.

##### 3.1.2. Materiales empleados en la construcción de cámara de calentador de aire:

- ❖ Plancha de metal (ASTM 1008 Tipo B comercial 0.3mm. de espesor) cortado según el diseño para el armado del calentador de aire.
- ❖ Tubos de fierro de dos pulgadas (ASTM A366 0.6mm) de diámetro para el armado del soporte del calentador de aire.
- ❖ Pernos y aislante de cerámica utilizados para sujetar la resistencia a la estructura del intercambiador de calor.
- ❖ Resistencia eléctrica de nicrom enrolladas en cerámica aislante.
- ❖ Cable térmico.
- ❖ Remaches, silicona de alta temperatura, para controlar la pérdida de calor.
- ❖ Soldadura empleada cellocord, para soldar las diferentes uniones del secador.

- ❖ Pintura color negro de alta temperatura, para el interior del intercambiador de calor.
- ❖ Pintura esmalte color café para el recubrimiento exterior del intercambiador de calor.

### 3.1.3. Materiales empleados en la implementación del control adaptivo:

- ❖ Hardware de adquisición de datos NI-USB6008.
- ❖ Sensores de temperatura tipo J (Termocuplas).
- ❖ Tablero de control digital.
- ❖ Ventilador de 12 voltios.
- ❖ Sensor de peso (balanza digital).
- ❖ Software NI LabVIEW (version 8.2)
- ❖ Calentador de aire.
- ❖ Computadora.
- ❖ Adaptador de energía

### 3.1.4. Materiales empleados en la implementación del modulo de secado:

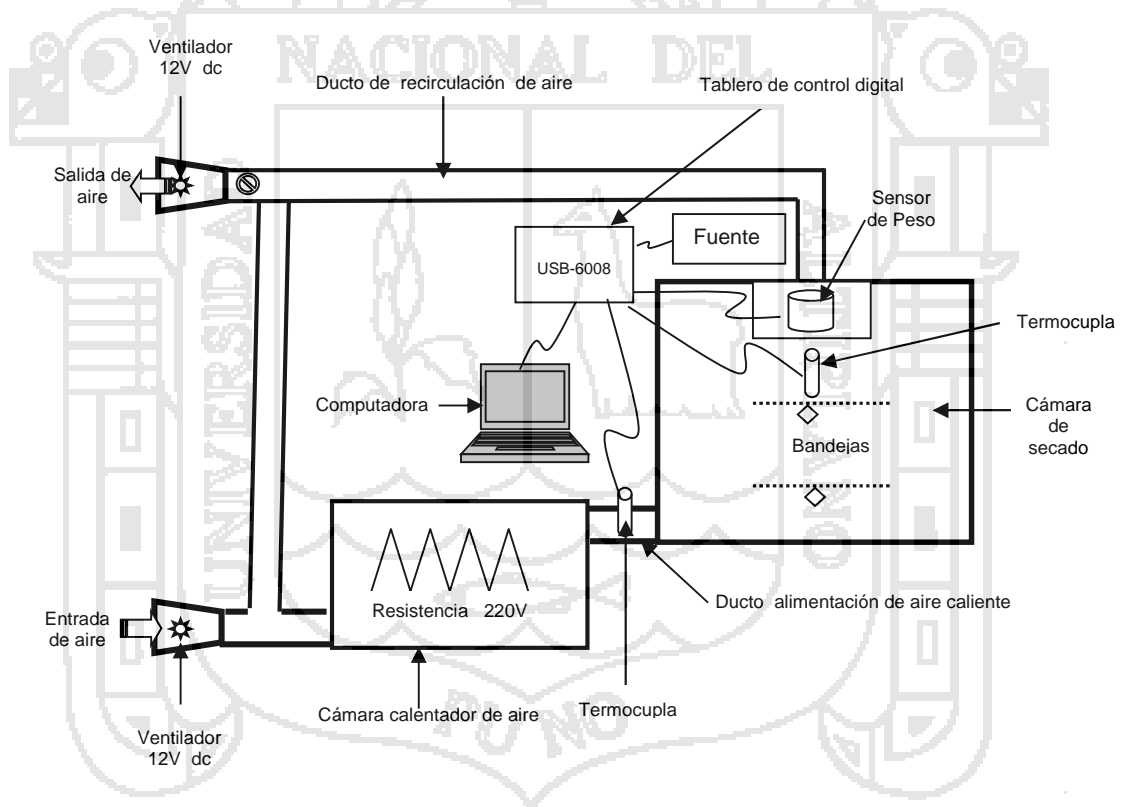
- ❖ Tubos de fierro de dos pulgadas para el armado del soporte de la mesa del equipo implementado.
- ❖ Soldadura cellocord empleados para unir las diferentes partes de la mesa del equipo.
- ❖ Pintura de horno de color plomo para el recubrimiento exterior de la mesa.
- ❖ Tablero de madera para el soporte de la computadora.
- ❖ Tubos de fierro galvanizado.
- ❖ Tuercas, gomas, cables para conexiones del sistema electrónico.
- ❖ Bandejas de secado.

### 3.2. EQUIPO DE SECADO

#### 3.2.1. Descripción del secador

Como equipo experimental para el proceso de secado, se utilizó el secador implementado con control adaptivo de lecho fijo con recirculación de aire presentada en las Figuras 4 y 5 cuyas partes principales son:

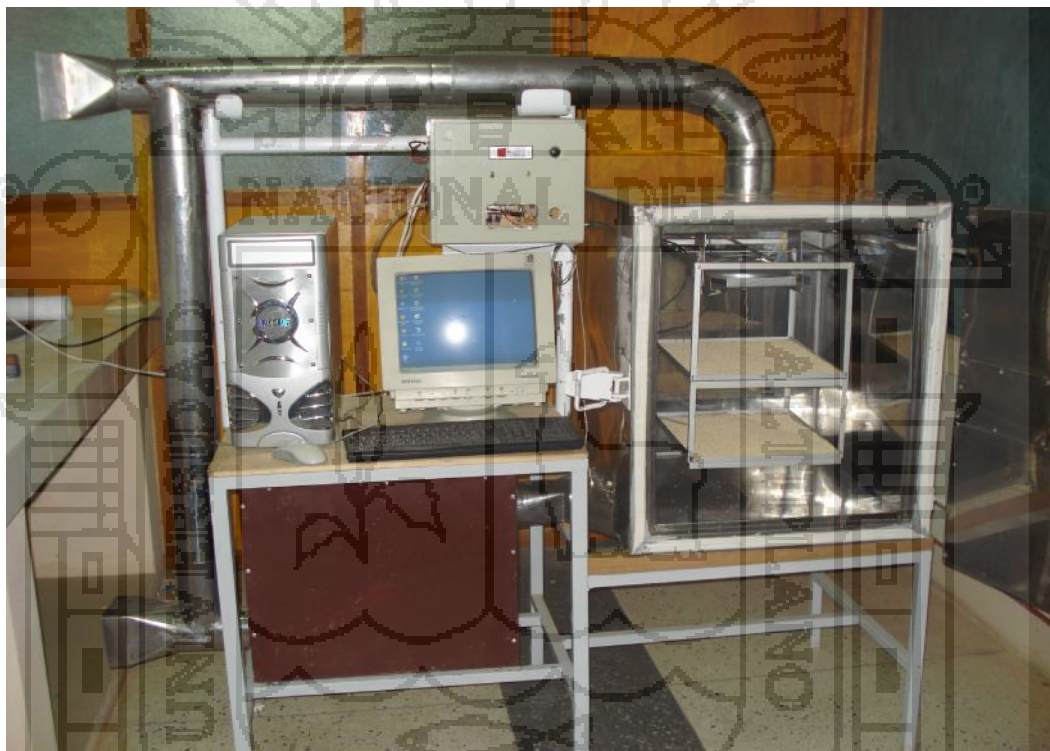
Figura 4. Partes del equipo de secado implementado de lecho fijo con recirculación de aire



- ❖ Ventiladores de 12V dc.
- ❖ Cámara calentador de aire.
- ❖ Ducto de alimentación de aire caliente.
- ❖ Cámara de secado.

- ❖ Ducto de recirculación aire.
- ❖ Tablero de control digital.
- ❖ Computador.

FIGURA 5. Secador de lecho fijo con recirculación de aire implementado con control adaptivo.



#### 3.2.1.1. Cámara de secado

Es de tipo rectangular de 71cmx62cmx58cm; alto, ancho y largo respectivamente con un espesor de 4cm, construido de material acero inoxidable AISI 304L (Anexo 16, Imagen 1).

### 3.2.1.2. Cámara calentador de aire

El calentador de aire utilizado es de forma rectangular 45cmx55.5cmx30cm; alto, ancho y largo respectivamente, con un espesor de 2cm. Provista de una resistencia eléctrica de Nicrom (níquel -cromo) (Anexo 16, Imagen 2).

### 3.2.1.3. Resistencia eléctrica

El tiempo y tipo de secado depende de la temperatura del aire generado por lo que es necesario contar con un sistema que permita el calentamiento del aire. Para este secador se decidió utilizar hilo de resistencia eléctrica de Nicrom, esta resistencia se caracteriza por generar una gran cantidad de potencia calorífica, básicamente el resistor no es más un conductor imperfecto que presenta una cierta dificultad intrínseca al paso de la corriente eléctrica y la resistencia eléctrica se caracteriza por tener un voltaje de operación de 220V (Anexo 16, Imagen 3).

### 3.2.1.4. Ventiladores

Se utilizó dos motores de ventilación de corriente continua, el cual se caracteriza por tener un voltaje de operación de 12V y la velocidad máxima que genera es de 1m/s (Anexo 16, Imagen 4).

### 3.2.1.5. Ducto de recirculación de aire

Es tipo cilíndrico con una longitud de 164cm, con un diámetro de 12cm y con un espesor de 1mm de material acero inoxidable AISI 304L, que está conectado al ducto de salida de aire húmedo de la cámara de secado retornando la corriente de aire caliente que ingresa a la cámara de calentador de aire para precalentar (Anexo 16, Imagen 5).



### 3.2.1.6. Tablero de control

Se utilizó circuitos electrónicos para el control de la velocidad de aire (tres velocidades), control de peso, el encendido, apagado del intercambiador de calor y el control de los sensores de temperatura los cuales están conectados en la tarjeta de adquisición de datos NI-USB6008 (Anexo 16, Imagen 6).

### 3.2.1.7. Balanza registradora de peso

Se utilizó una balanza digital de marca Eko2 para el control de pérdida de peso cuya capacidad es de 5 kilos (Anexo 16, Imagen 1).

### 3.2.1.8. Termocuplas

Se utilizó termocuplas de tipo "J" para el control de temperaturas en el ingreso (ducto de alimentación de aire) y cámara de secado, con un rango de temperatura de 0 a 600°C (Anexo 16, Imagen 8).

## 3.2.2. Equipos de control

### Balanza digital

- ❖ Marca : Sartorius
- ❖ Modelo : CP 3235
- ❖ Capacidad : 320 g.
- ❖ Voltaje : 12V

## Termómetro digital

- ❖ Marca : Jenway
- ❖ Tipo : Monobloc incide 2000
- ❖ Rango : 0 – 150 °C
- ❖ Voltaje : 3 V

## Anemómetro

- ❖ Modelo : Cacella London
- ❖ Serie : W120812
- ❖ U.M : Kilómetros/Hora

## Higrómetro

- ❖ Marca : Taylor
- ❖ Rango : 20% - 90%
- ❖ Serie : 1455

## Computador

- ❖ Marca : Intel(R) Pentium IV
- ❖ Microprocesador : 2.80 GHz.
- ❖ Tipo : Windows XP
- ❖ Memoria : 40Gb

### 3.3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL DE OPERACIONES PARA EL PROCESO DE SECADO DE QUINUA Y PLATANO.

#### 3.3.1. Metodología experimental de quinua

La secuencia de operaciones del proceso experimental se esquematiza en el diagrama de flujo, (Figura 6). Las operaciones efectuadas son las siguientes:

Recepción de la materia prima.- La materia prima empleada en la evaluación del equipo fue quinua de la variedad blanca de Juli, se peso cuidadosamente con la finalidad de llevar los rendimientos en la operación.

Selección y limpieza.- Esta operación se realizó con la finalidad de eliminar las impurezas logrando separar con la ayuda de un separador neumático de laboratorio.

Escarificado.- Una vez seleccionada la quinua se sometió a un escarificado para eliminar la saponina.

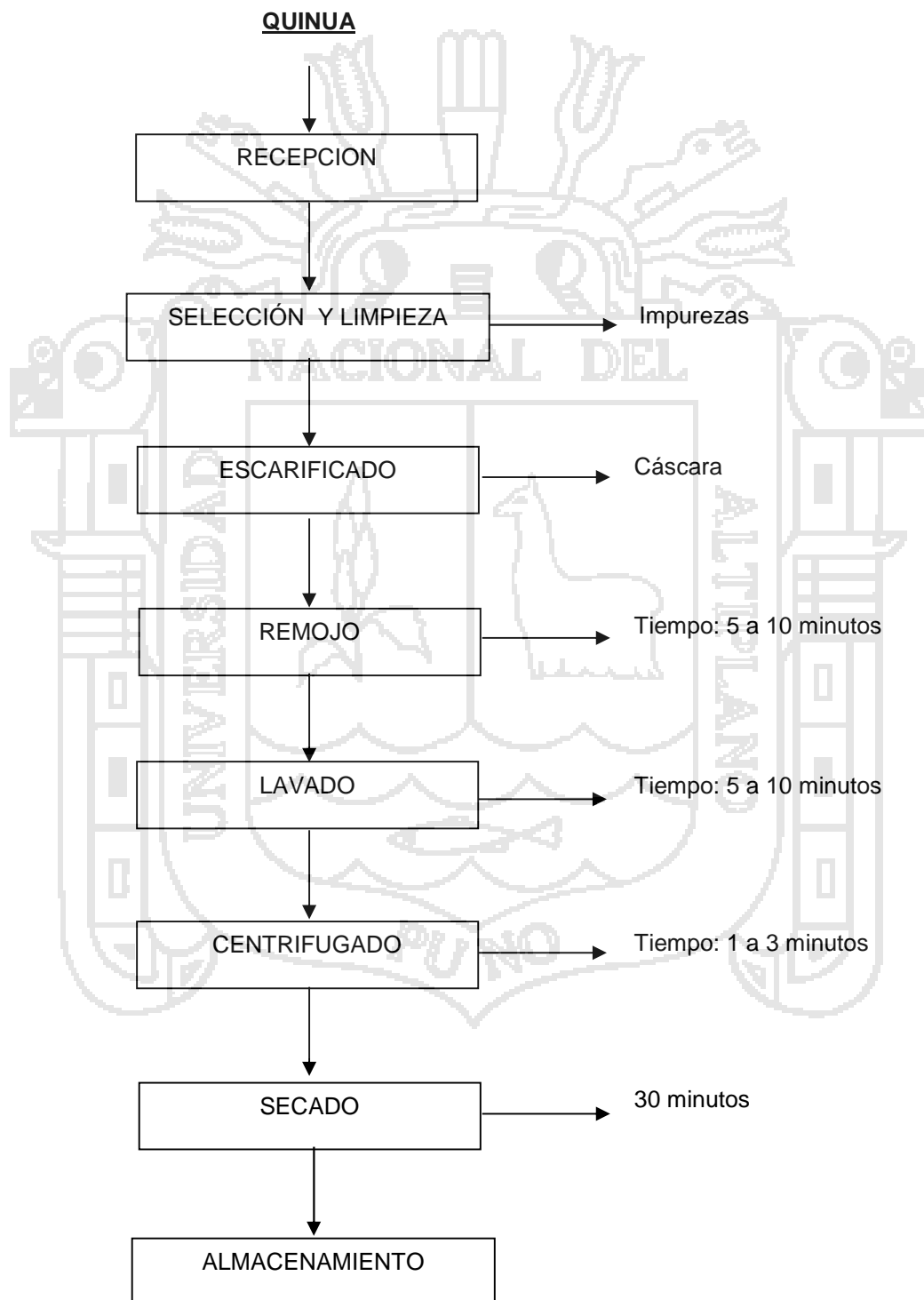
Remojo.- Esta operación se realizó inmediatamente después de escarificado, se pone en remojo por un tiempo de 5 a 10 minutos aproximadamente, logrando así eliminar restos o trazas de saponina.

Lavado.- Los granos de quinua fueron escarificados por vía húmeda para eliminar saponina enjuagando consecutivamente hasta que no haga espuma.

Centrifugado.- Se realizó para eliminar el agua libre y parte del agua de impregnación.

Secado.- Una vez que la quinua fue centrifugada se carga en bandejas independientemente, para introducirlo en la cámara de secado, permaneciendo en ella por un tiempo de 30 minutos.

Figura 6. Diagrama de flujo del proceso de secado de quinua



### 3.3.2. Metodología experimental de plátano

Otra de las materias primas empleada en la evaluación del equipo es el plátano de la variedad "Enano gigante" AAA "Cavendish", la secuencia de operaciones del proceso experimental se esquematiza en el diagrama de flujo en la Figura 7, Las operaciones efectuadas son las siguientes:

Recepción.- Los plátanos provenientes de la ceja de selva de la región Puno, fueron adquiridos en el mercado local, luego se pesaron a fin de controlar los rendimientos durante el proceso de secado.

Selección.- Esta operación se realizó para retirar aquellos plátanos excesivamente maduros, magullados.

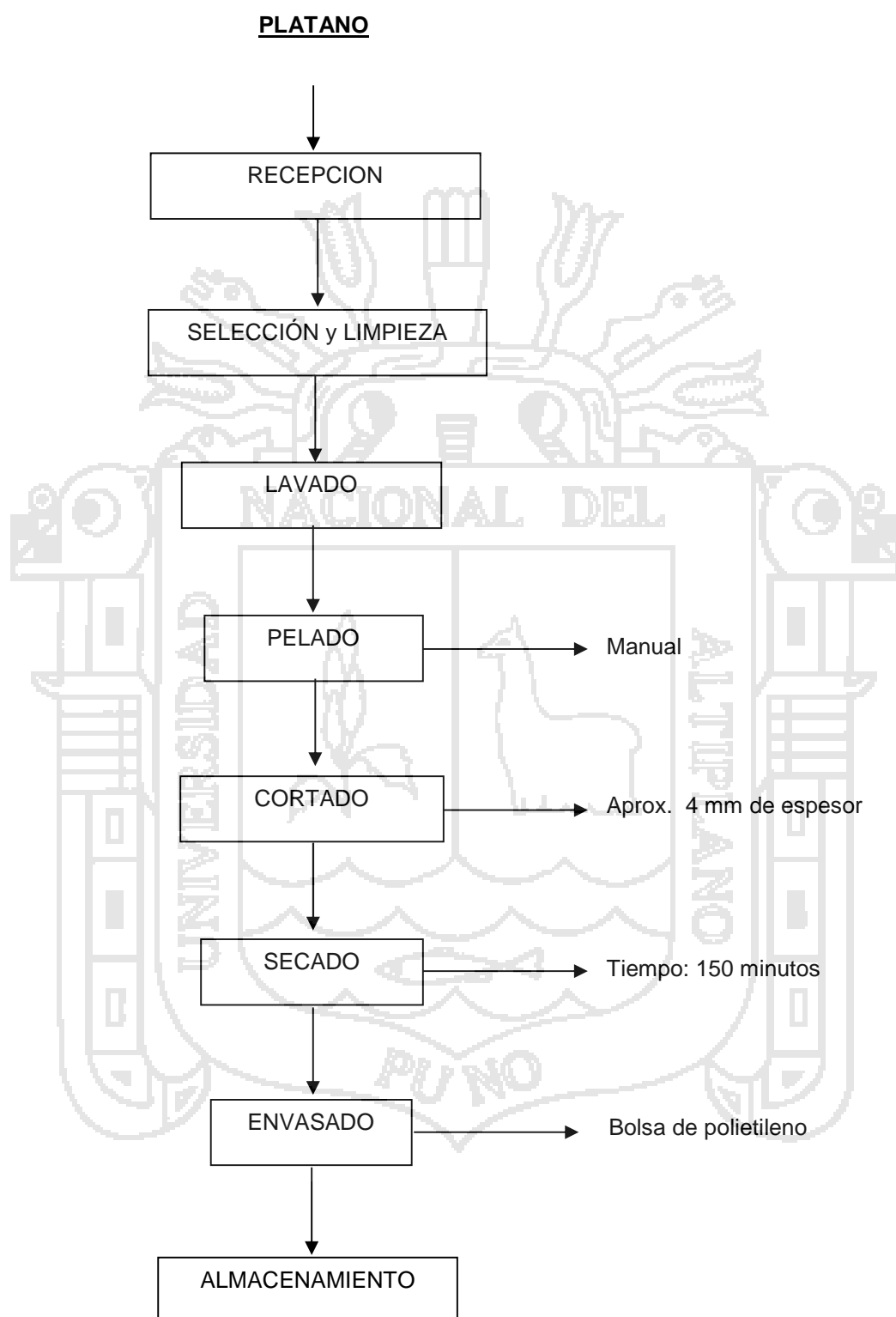
Lavado.- Se hizo con el fin de reducir la carga microbiana y eliminar las materias extrañas que pueden estar adheridas al plátano.

Pelado.- El plátano luego de ser lavado se peló manualmente.

Cortado.- Se efectuó manualmente con la ayuda de cuchillos, los cuales son cortado en rodajas de aproximadamente 4mm de espesor.

Secado.- Una vez cortado los plátanos en rodajas fueron dispuestos uniformemente sobre bandejas en el interior de la cámara de secado.

Figura 7. Diagrama de flujo del proceso de secado de plátano



### 3.3.3. Metodología de cálculos en el proceso de secado de quinua y plátano.

Se utilizó la metodología de Ocon y Tojo (1986) para los cálculos y gráficos de las curvas de pérdida de peso y velocidad de secado de quinua y plátano.

Cálculos de humedad total.

$$Ht = PM_n - Pss \quad (Kg H_2O) \quad (1)$$

Donde:

Ht = Humedad total.

PM<sub>n</sub> = Peso de la muestra en cada punto.

Pss = Peso de sólido seco de la muestra.

Calculo de humedad libre en sólido seco.

$$X = \frac{Ht}{Pss} \left( \frac{Kg H_2O}{Kg \text{ solido seco}} \right) \quad (2)$$

Donde:

X = Humedad libre en sólido seco.

Ht = Contenido de humedad total.

Pss = Peso de sólido seco de la muestra.

Cálculos para velocidad de secado

$$W = -\frac{Ls}{A} \left( \frac{dX}{dt} \right) \quad (3)$$

Donde:

W = Velocidad de secado.

Ls = Peso total de la muestra seca.

A = Área de secado.

dX = Variación de humedad.

dt = Variación del tiempo

Ecuación para ajustar las curvas de velocidad

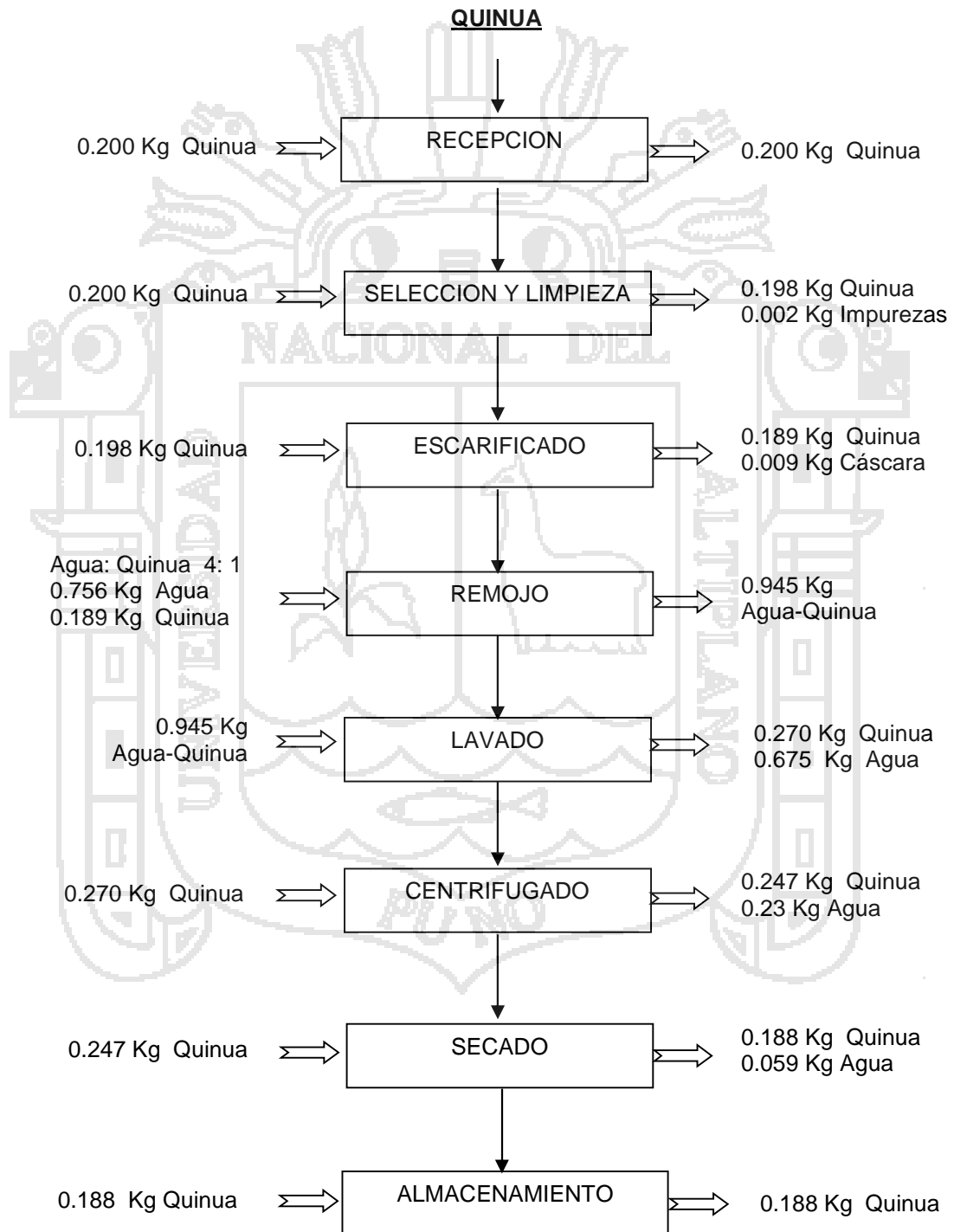
$$y = ax - b \quad (4)$$



3.4. BALANCE DE MATERIA

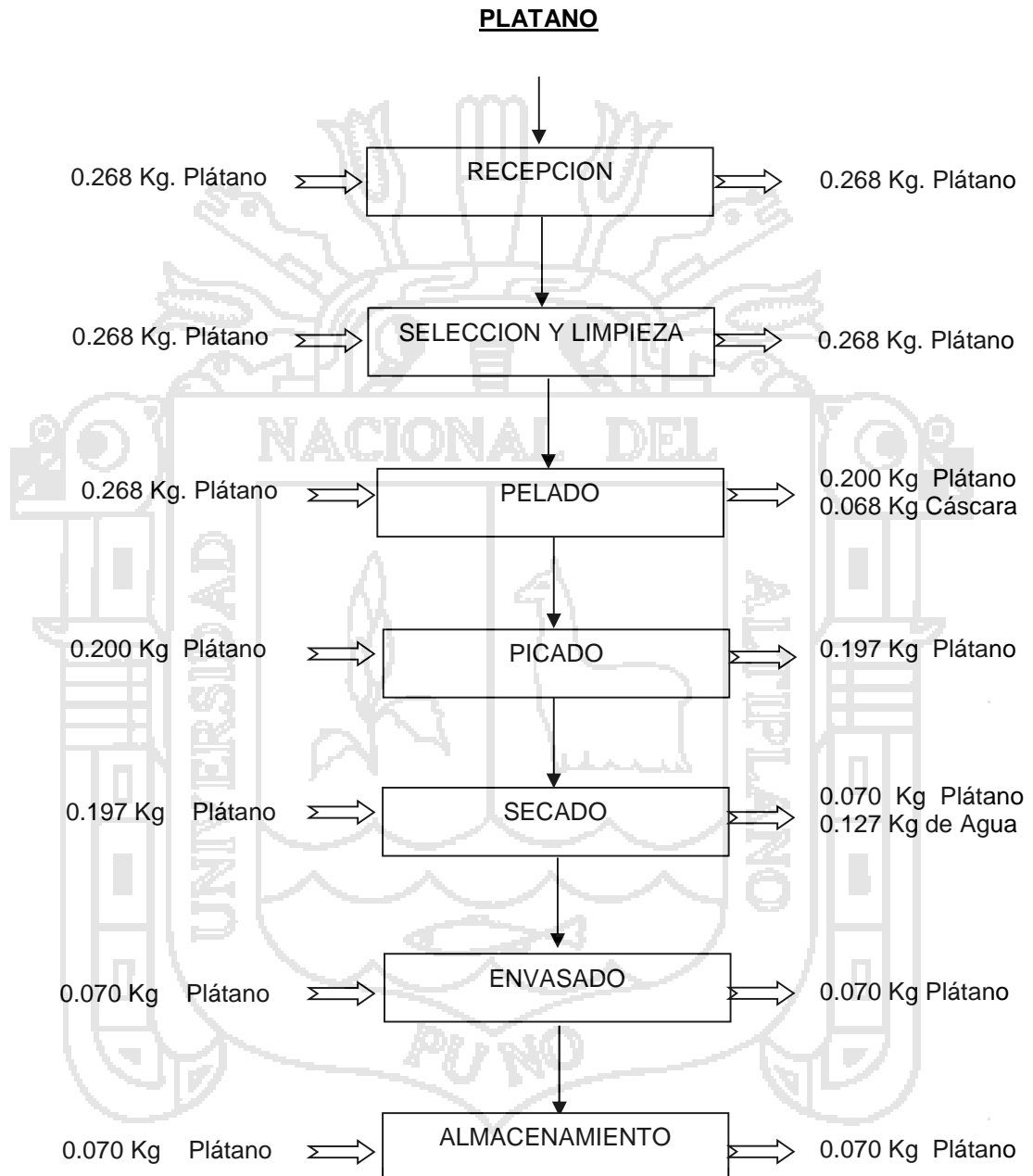
3.4.1. Balance de materia en el proceso de secado de la quinua

Figura 8. Balance total de materia en el secado de quinua



3.4.2. Balance de materia en el proceso de secado del plátano.

Figura 9. Balance total de materia en el secado de plátano



### 3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

#### 3.5.1. Evaluación del proceso de secado en quinua y plátano.

La evaluación del proceso de secado se realizó bajo un Diseño Completo al Azar (DCA), con un arreglo factorial  $2 \times 2 \times 2$  y tres replicas obteniéndose un total de 24 tratamientos, se realizó análisis de varianza y pruebas de comparaciones múltiples para determinar las diferencias significativas dentro de cada tratamiento evaluado en el secador considerando lo siguiente:

##### Factores en estudio

- Velocidad de aire.
- Temperatura.
- Recirculado.

##### Variable de respuesta

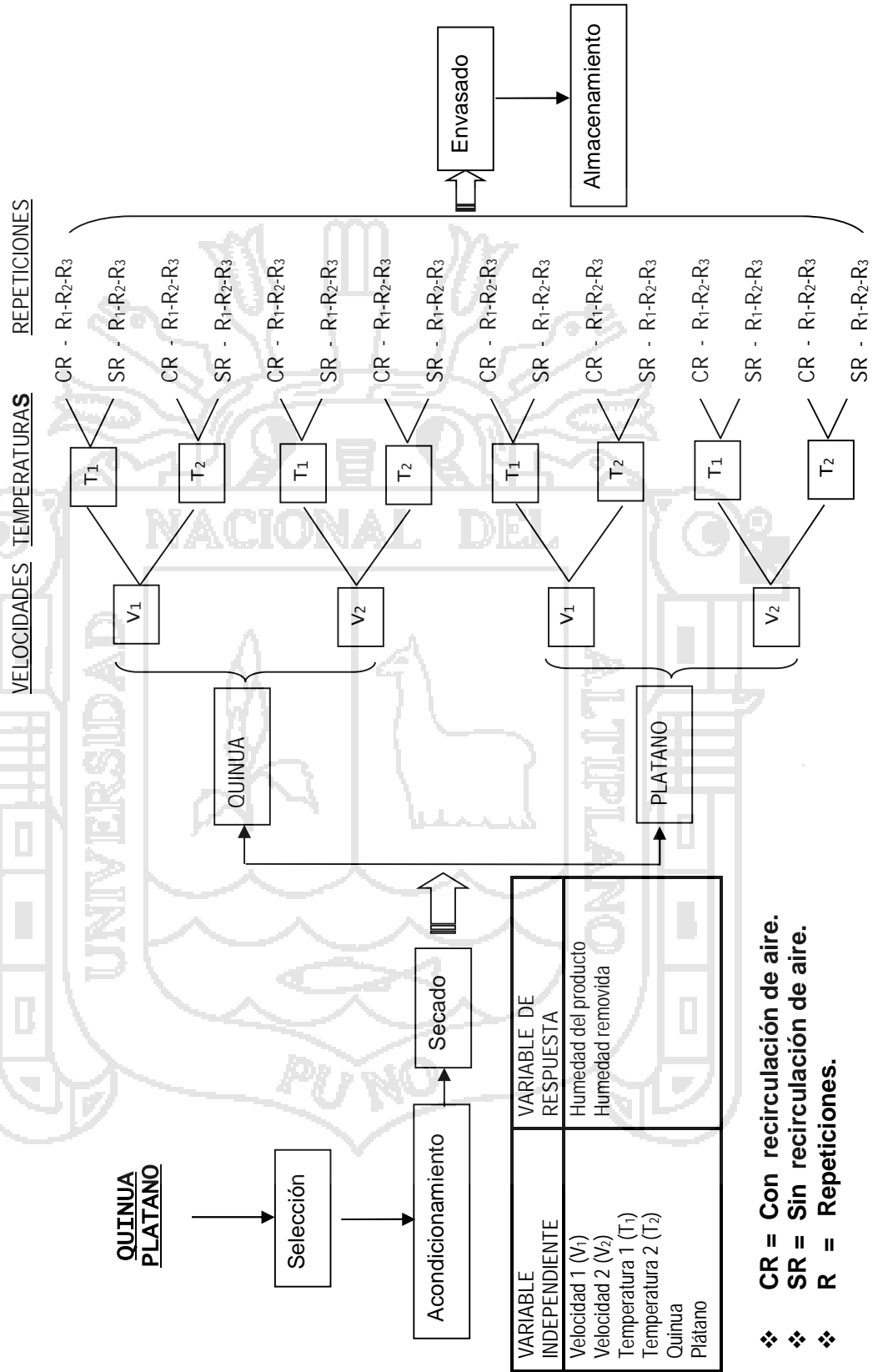
- Humedad final del producto
- Humedad removida por el equipo

#### 3.5.2. Diseño estadístico para evaluación de la calidad físico sensorial de los deshidratados de quinua y plátano.

El modelo estadístico para la evaluación sensorial se realizó bajo una escala estructurada de 5 puntos (prueba hedónica) de acuerdo a la metodología de Watts, (1992) y los datos obtenidos fueron evaluados bajo un Diseño en Bloque Completo al Azar, de solo un factor y su respectivo análisis de varianza, Para poder evaluar la calidad físico sensorial de los productos deshidratados quinua y plátano los panelistas recibieron una cartilla de instrucciones (anexos 11 y 12) respectivamente.

3.5.3 Diseño experimental en la evaluación del secador implementado con control adaptivo.

Figura 10. Diseño experimental para la evaluación del secador implementado con recirculación de aire en el secado de quinua y plátano



## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

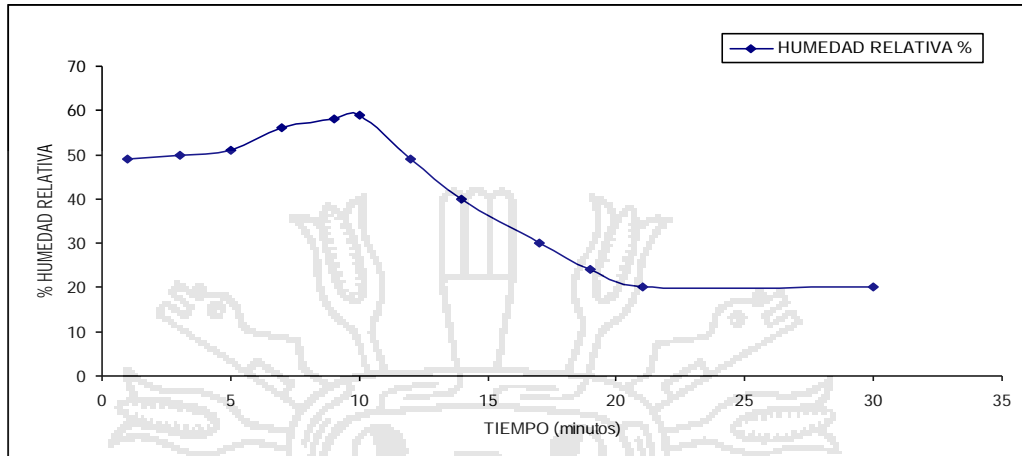
## 4.1. RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACION DE CONTROL ADAPTIVO DEL SECADOR DE LECHO FIJO CON RECIRCULACIÓN DE AIRE.

En la Tabla 2 se presenta los resultados de registro de tiempo, temperatura ingreso, temperatura de cámara, temperatura salida y humedad y en la Figura 11, se muestra la curva del comportamiento de humedad en función al tiempo; sin la muestra, se inicio el proceso de registro con una humedad de 49% (humedad del ambiente) por efecto de la temperatura y la velocidad de flujo de aire dentro de la cámara secado aumenta la humedad hasta 59% en un tiempo de 10 minutos, para rápidamente descender a 20% de humedad en un tiempo de 21 minutos .

Tabla 2. Registro de temperatura y humedad del secador implementado con control adaptivo sin muestra.

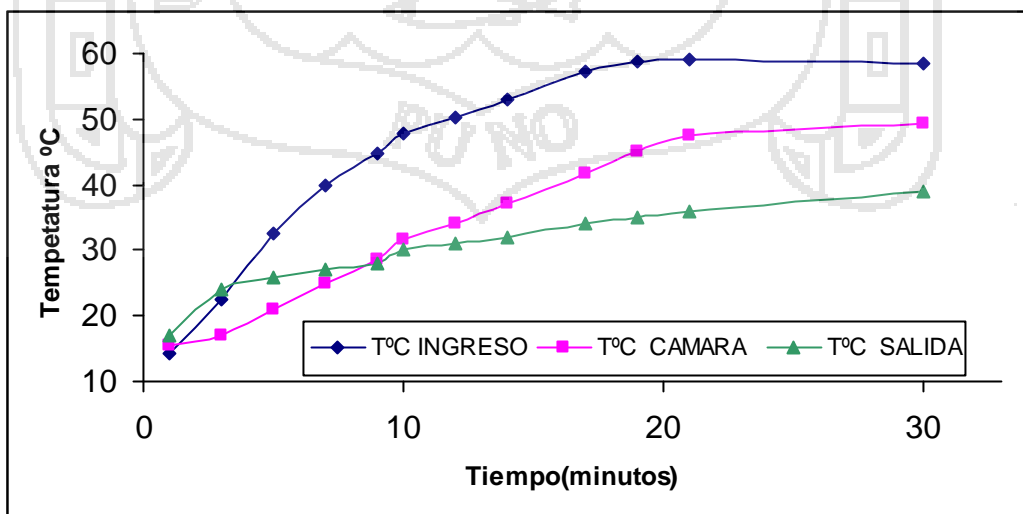
| Nº DATOS | TIEMPO (minutos) | T °C INGRESO | T °C. CAMARA | T °C SALIDA | HUMEDAD RELATIVA % |
|----------|------------------|--------------|--------------|-------------|--------------------|
| 1        | 1                | 14,36        | 15,34        | 17,00       | 49                 |
| 2        | 3                | 22,61        | 16,92        | 24,00       | 50                 |
| 3        | 5                | 32,44        | 20,83        | 26,00       | 51                 |
| 4        | 7                | 39,83        | 25,01        | 27,00       | 56                 |
| 5        | 9                | 44,64        | 28,67        | 28,00       | 58                 |
| 6        | 10               | 47,90        | 31,72        | 30,00       | 59                 |
| 7        | 12               | 50,12        | 34,22        | 31,00       | 49                 |
| 8        | 14               | 52,95        | 37,21        | 32,00       | 40                 |
| 9        | 17               | 57,25        | 41,75        | 34,00       | 30                 |
| 10       | 19               | 58,88        | 45,20        | 35,00       | 24                 |
| 11       | 21               | 59,03        | 47,58        | 36,00       | 20                 |
| 12       | 30               | 58,57        | 49,19        | 39,00       | 20                 |

Figura 11. Pérdida de humedad relativa en función al tiempo sin muestra.



En la Figura 12, se observa el comportamiento de las curvas de temperatura al ingreso de la cámara, en el interior de la cámara y a la salida del ducto de circulación de aire, al inicio en 1 minuto se registra 14,36°C al ingreso, 15,34°C en cámara y 17,00 °C ducto de salida, transcurrido 10 minutos la temperatura registró un aumento de 47,90, 31,72 y 30,00 °C respectivamente, para finalmente al minuto 30 la temperatura registro 58,57, 49,19 y 39,00 °C respectivamente.

Figura 12. Curvas de temperatura en función al tiempo sin muestra.

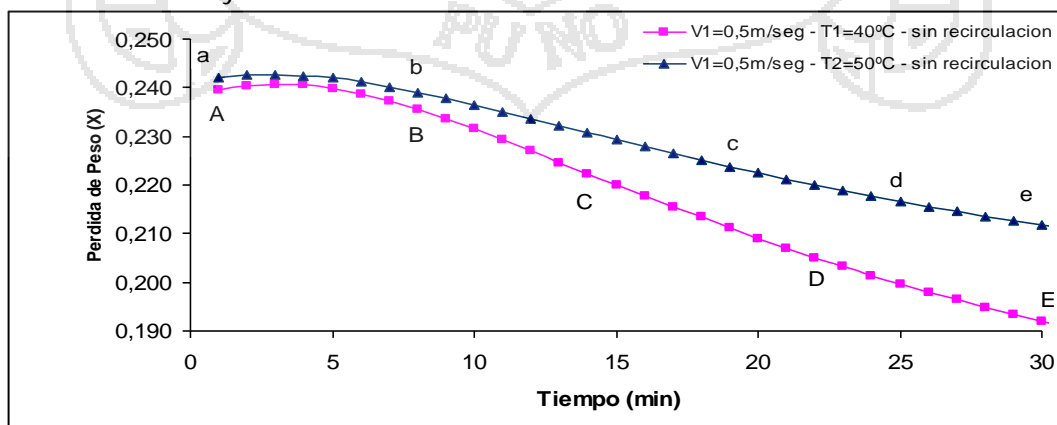


#### 4.2. RESULTADOS DE PERDIDA DE HUMEDAD EN EL PROCESO DE SECADO DE QUINUA Y PLATANO POR EFECTO DE LA TEMPERATURA, VELOCIDAD DE AIRE Y RECIRCULACIÓN.

##### 4.2.1. Resultados de pérdida de peso en el proceso de secado de quinua.

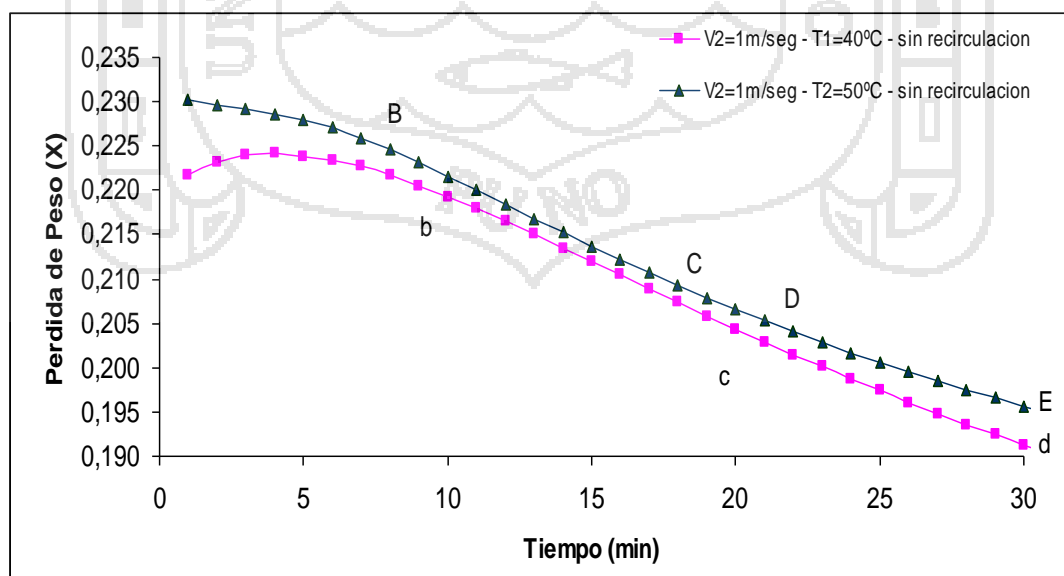
En el Anexo 1 Cuadro 1, se presenta los resultados de pérdida de peso en el proceso de secado de quinua, considerando una velocidad de flujo de aire de  $V_1$  (0.5m/s) y temperaturas de 40 y 50°C, sin recirculación. En la Figura 13, se presenta la curva de pérdida de peso de los granos de quinua en función del tiempo, donde podemos observar que la humedad inicial de secado presento una variación en 03 gramos de agua, observándose también que ha condiciones de secado de  $V_1$  (0.5m/seg.) y  $T_1$  (40°C), los granos de quinua llegan al punto de estabilización (punto b) en 08 minutos, alcanzando la humedad de equilibrio (punto c) en las condiciones de secado en 14 minutos, para llegar al primer periodo de secado decreciente (punto d) en 22 minutos y finalmente llegar al segundo periodo de secado decreciente (punto e) en 30 minutos. En tanto a las condiciones de  $V_1$  (0.5m/seg.) y  $T_2$  (50°C), los granos de quinua llegan al punto de estabilización (punto B) en 8 minutos, alcanzando la humedad de equilibrio (punto C) en las condiciones de secado en 19 minutos, para llegar al primer periodo decreciente (punto D) en 25 minutos y finalmente llegar al segundo periodo de secado decreciente (punto E) en 30 minutos.

Figura 13. Pérdida de peso en función al tiempo en el secado de quinua a  $V_1=0.5\text{m/seg.}$  y  $T = 40$  y  $50^\circ\text{C}$  sin recirculación.



En el Anexo 1 Cuadro 1, se presenta los resultados de pérdida de peso en el proceso de secado de quinua, considerando una velocidad de flujo de aire de  $V_2$  (1m/s) y temperaturas de 40 y 50°C, sin recirculación. En la Figura 14, se presenta la curva de pérdida de peso de los granos de quinua en función del tiempo, donde podemos observar que la humedad inicial de secado presento una variación en 10 gramos de agua, esto se atribuye al efecto del uso de la centrifuga, observándose también que ha condiciones de secado de  $V_2$  (1m/seg.) y  $T_1$  (40°C), los granos de quinua llegan al punto de estabilización (punto b) en 10 minutos, alcanzando la humedad de equilibrio (punto c) bajo las condiciones de secado en 21 minutos, para finalmente llegar al periodo de secado decreciente (punto d) en 30 minutos. En tanto a las condiciones de  $V_2$  (1m/seg.) y  $T_2$  (50°C), los granos de quinua llegan al punto de estabilización (punto B) en 7 minutos, alcanzando la humedad de equilibrio (punto C) en las condiciones de secado en 20 minutos, para llegar al primer periodo decreciente (punto D) en 21 minutos y finalmente llegar al segundo periodo de secado decreciente (punto E) en 30 minutos.

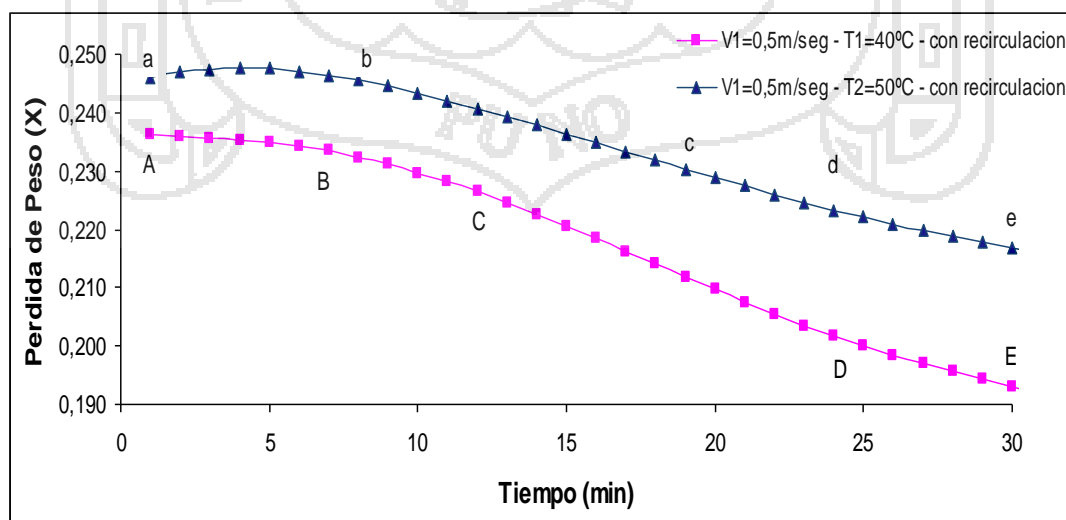
Figura 14. Pérdida de peso en función al tiempo en el secado de quinua a  $V_2 = 1\text{m/seg.}$  y  $T = 40$  y  $50^\circ\text{C}$  sin recirculación.





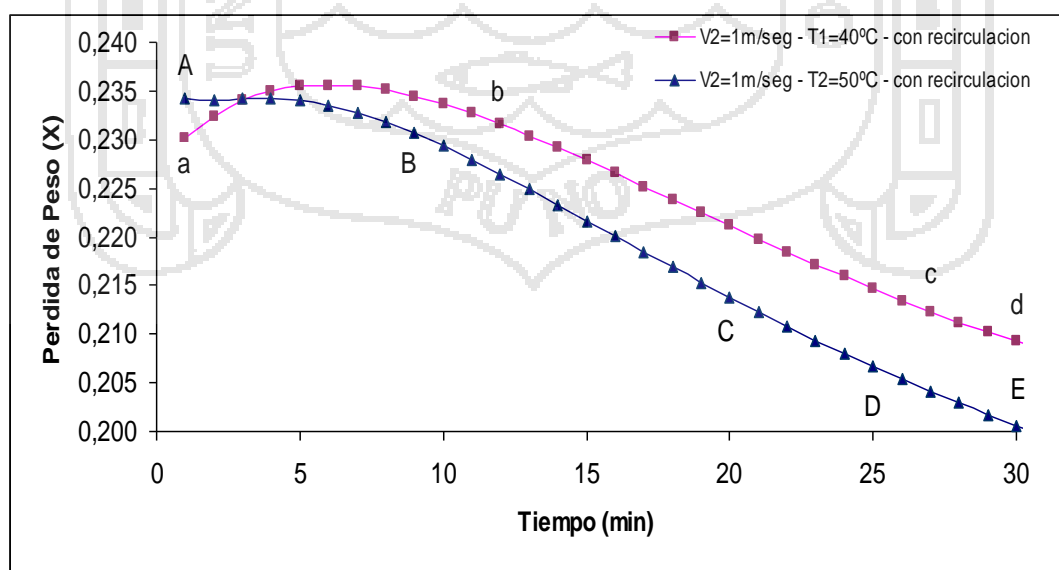
En el Anexo 2 Cuadro 2, se presenta los resultados de pérdida de peso en el proceso de secado de quinua, considerando una velocidad de flujo de aire de  $V_1$  (0.5m/s) y temperaturas de 40 y 50°C, considerando la recirculación de aire. En la Figura 15, se presenta la curva de pérdida de peso de los granos de quinua en función del tiempo, donde podemos observar que la humedad inicial de secado presento una variación en 09 gramos de agua, esto se atribuye al efecto del uso de la centrifuga, observándose también que ha condiciones de secado de  $V_1$  (0.5m/seg.) y  $T_1$  (40°C), los granos de quinua llegan al punto de estabilización (punto B) en 07 minutos, alcanzando la humedad de equilibrio (punto C) en las condiciones de secado en 12 minutos, para llegar al primer periodo de secado decreciente (punto D) en 24 minutos y finalmente llegar al segundo periodo de secado decreciente (punto E) en 30 minutos. En tanto a las condiciones de  $V_1$ (0.5m/seg.) y  $T_2$  (50°C), los granos de quinua llegan al punto de estabilización (punto b) en 08 minutos, alcanzando la humedad de equilibrio (punto c) en las condiciones de secado en 19 minutos, para llegar al primer periodo decreciente (punto d) en 24 minutos y finalmente llegar al segundo periodo de secado decreciente (punto e) en 30 minutos.

Figura 15. Pérdida de peso en función al tiempo en el secado de quinua a  $V_1=0.5\text{m/seg.}$  y  $T = 40$  y  $50^\circ\text{C}$  con recirculación.



En el Anexo 2 Cuadro 2, se presenta los resultados de pérdida de peso en el proceso de secado de quinua, considerando una velocidad de flujo de aire de  $V_2$  (1m/s) y temperaturas de 40 y 50°C, considerando la recirculación de aire. En la Figura 16, se presenta la curva de pérdida de peso de los granos de quinua en función del tiempo, donde podemos observar que la humedad inicial de secado presento una variación en 04 gramos de agua, observándose también que ha condiciones de secado de  $V_2$  (1m/seg.) y  $T_1$  (40°C), los granos de quinua llegan al punto de estabilización (punto b) en 12 minutos, alcanzando la humedad de equilibrio (punto c) en las condiciones de secado en 27 minutos, y finalmente llegar al periodo de secado decreciente (punto d) en 30 minutos. En tanto a las condiciones de  $V_2$  (1 m/seg.) y  $T_2$  (50°C), los granos de quinua llegan al punto de estabilización (punto B) en 9 minutos, alcanzando la humedad de equilibrio (punto C) en las condiciones de secado en 20 minutos, para llegar al primer periodo decreciente (punto D) en 25 minutos y finalmente llegar al segundo periodo de secado decreciente (punto E) en 30 minutos.

Figura 16. Pérdida de peso en función al tiempo en el secado de quinua a  $V_2=1\text{m/seg.}$  y  $T=40$  y 50°C con recirculación.



#### 4.2.2. Pruebas de comparaciones múltiples de Duncan para la velocidad de aire de secado en pérdida de peso de quinua.

En el Anexo 3 Cuadro 3, se presenta los valores de pérdida de peso en el periodo de estabilización A-B. Para el análisis estadístico del efecto de la velocidad de aire y en el Análisis de Varianza del Anexo 3 Cuadro 4, se observa que para los datos de pérdida de peso en función al tiempo se evidenció diferencias estadísticas significativas en la pérdida de humedad hasta llegar al periodo de estabilización de la quinua en las condiciones de secado por efecto de la velocidad del flujo de aire de secado, y no mostraron efecto alguno las variables de temperatura y recirculación del aire. En la Tabla 3 de las pruebas de comparaciones múltiples se observa que la velocidad 2 tuvo mejor efecto en eliminar la humedad adherida a los granos de quinua comparativamente con la velocidad 1, lográndose eliminar en promedio 0,249747 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco, 0,226861 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco respectivamente.

Tabla 3. Prueba de comparaciones múltiple de Duncan para los efectos de velocidad de aire en el periodo de estabilización A-B (Punto B).

| Velocidad | Nº Observaciones | Promedio    | Significancia |
|-----------|------------------|-------------|---------------|
| 1         | 12               | 0,226861    | a             |
| 2         | 12               | 0,249747    | b             |
| 1 - 2     |                  | *-0,0228869 |               |

En el Anexo 3 Cuadro 5, se presenta los valores de pérdida de peso en el periodo constante B-C. Para el análisis estadístico del efecto de la velocidad de aire y en el Análisis de Varianza del Anexo 3 Cuadro 6, se observa que se evidenció diferencias estadísticas significativas en la pérdidas de peso hasta llegar al punto crítico de la quinua en las condiciones de secado por

efecto de la velocidad del flujo de aire de secado y no mostraron efecto alguno las variables de temperatura y recirculación del aire. En la Tabla 4 de las pruebas de comparaciones múltiples se observa que la velocidad 2 tuvo mejor efecto en eliminar la humedad adherida a los granos de quinua comparativamente con la velocidad 1, lográndose eliminar en promedio 0,237066 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco, 0,208872 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco respectivamente.

Tabla 4. Prueba de comparaciones múltiple de Duncan para los efectos de velocidad de aire en el periodo constante B-C (Punto C).

| Velocidad | Nº Observaciones | Promedio    | Significancia |
|-----------|------------------|-------------|---------------|
| 1         | 12               | 0,208872    | a             |
| 2         | 12               | 0,237066    | b             |
| 1 - 2     |                  | *-0,0281939 |               |

En el Anexo 3 Cuadro 7, se presenta los valores de pérdida de peso en el primer periodo decreciente C-D. Para el análisis estadístico del efecto de la velocidad de aire y en el Análisis de Varianza del Anexo 3 Cuadro 8, se observa que se evidenció diferencias estadísticas significativas en la pérdidas de peso hasta llegar al primer periodo decreciente de la quinua en las condiciones de secado por efecto de la velocidad del flujo de aire de secado y no mostraron efecto alguno las variables de temperatura y recirculación del aire. En la Tabla 5 de las pruebas de comparaciones múltiples se observa que la velocidad 2 tuvo mejor efecto en eliminar la humedad adherida a los granos de quinua comparativamente con la velocidad 1, lográndose eliminar en promedio 0,223098 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco, 0,202791 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco respectivamente.

Tabla 5. Prueba de comparaciones múltiple de Duncan para los efectos de velocidad de aire en el primer periodo decreciente C-D. (Punto D).

| Velocidad | Nº Observaciones | Promedio    | Significancia |
|-----------|------------------|-------------|---------------|
| 1         | 12               | 0,202791    | a             |
| 2         | 12               | 0,223098    | b             |
| 1 - 2     |                  | *-0,0203067 |               |

En el Anexo 3 Cuadro 9, se presenta los valores de pérdida de peso en el segundo periodo decreciente D-E. Para el análisis estadístico del efecto de la velocidad de aire y en el Análisis de Varianza del Anexo 3 Cuadro 10, se observa que se evidenció diferencias estadísticas significativas en la pérdidas de peso hasta llegar al segundo periodo decreciente de la quinua en las condiciones de secado por efecto de la velocidad del flujo de aire de secado y no mostraron efecto alguno las variables de temperatura y recirculación del aire. En la Tabla 6 de las pruebas de comparaciones múltiples se observa que la velocidad 2 tuvo mejor efecto en eliminar la humedad adherida a los granos de quinua comparativamente con la velocidad 1, lográndose eliminar en promedio 0,214701 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco, 0,199196 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco respectivamente.

Tabla 6. Prueba de comparaciones múltiple de Duncan para los efectos de velocidad de aire en el segundo periodo decreciente D-E. (Punto E).

| Velocidad | Nº Observaciones | Promedio   | Significancia |
|-----------|------------------|------------|---------------|
| 1         | 12               | 0,199196   | a             |
| 2         | 12               | 0,214701   | b             |
| 1 - 2     |                  | *-0,015505 |               |

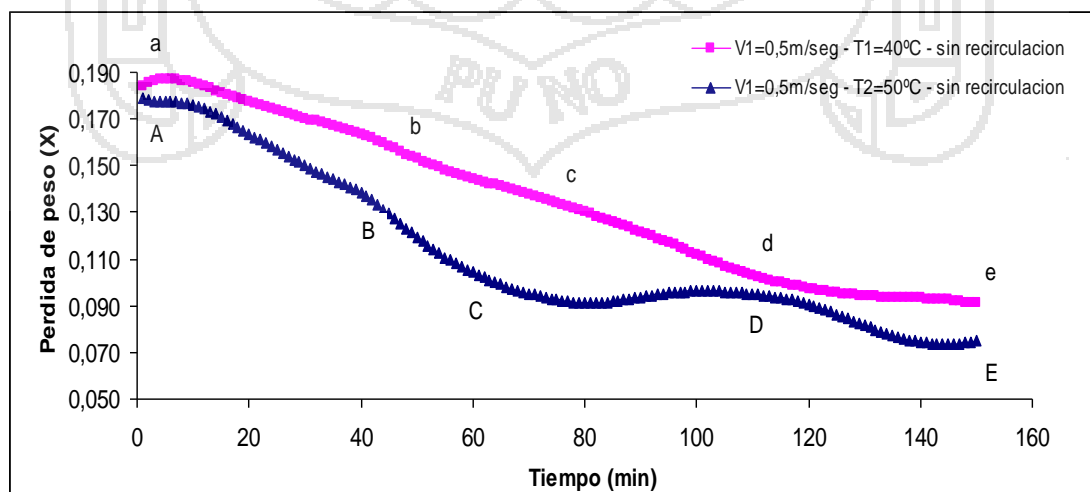
En el secador de lecho fijo con recirculación de aire implementado con control adaptivo, se evaluó 0.188kg de granos de quinua con una humedad inicial de 32% obteniéndose el mejor proceso de secado con una humedad final de 12 % a una velocidad de aire  $V_2 = 1 \text{ m/s}$  y  $T_2 = 50^\circ\text{C}$ , en un tiempo de 30 minutos este resultado se corrobora con Ancco (1998), que construyó un secador solar con aire forzado y evaluó el secado de granos de quinua, el tamaño de la cámara de secado fue de 0,9 por 3,8 metros permitiendo el secado de 17,480 Kg por lote, se secó quinua con humedad inicial de 32 % obteniéndose el mejor proceso de quinua lavada con 11% de humedad final en un tiempo de 2 horas, las temperaturas de secado fluctuaron desde 25 hasta  $37.7^\circ\text{C}$ . También Trigos y Prieto (2000), diseñaron, construyeron un prototipo de secador con aire forzado y evaluaron el secador de granos de quinua de la variedad blanca de Juli en lecho empacado y lecho fluidizado, en el lecho empacado se seco 1.5 kg de quinua con una humedad inicial de 32% obteniéndose 11% de humedad final con una velocidad de aire de 4 m/s y una temperatura máxima de calentamiento de aire  $62^\circ\text{C}$  en un tiempo de 6 minutos. Rodríguez (1988), menciona que los granos de quinua absorben una cantidad de agua en promedio de 50% como resultado de proceso de des amargado; dicha humedad mas la temperatura del medio ambiente origina una rápida germinación de los granos de quinua, razón por la cual es necesario someterlos a un proceso de secado rápido, lo cual se produce en un secador de aire caliente tipo túnel.

Cabe mencionar que no existen estudios realizados de secado de quinua por periodos o etapas de secado para la discusión del presente trabajo.

4.2.3. Resultados de pérdida de peso en el proceso de secado de plátano por efecto de la temperatura, velocidad de aire y recirculación.

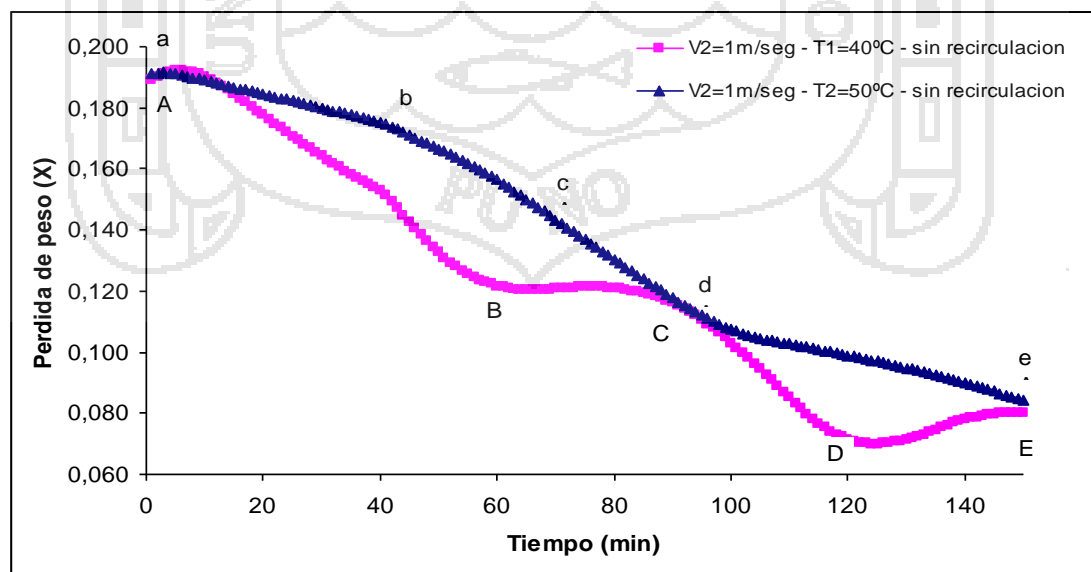
En el Anexo 4 Cuadro 11, se presenta los resultados de la pérdida de peso en el proceso de secado de plátano, considerando una velocidad de flujo de aire de, 1(0.5m/seg.) y temperatura de 40 y 50°C, sin recirculación. En la Figura 17, se presenta la curva de pérdida de peso del plátano en función del tiempo, donde podemos observar que la humedad inicial de secado presento una variación en 06 gramos de agua, observándose también que ha condiciones de secado de  $V_1(0.5\text{m/seg.})$  y  $T_1(40^\circ\text{C})$ , las rodajas de plátano llegan al punto de estabilización (punto b) en 49 minutos, alcanzando la humedad de equilibrio (punto c) en las condiciones de secado en 77 minutos, para llegar al primer periodo de secado decreciente (punto d) en 113 minutos y finalmente llegar al segundo periodo de decreciente (punto e) en 150 minutos. En tanto a las condiciones de  $V_1(0.5\text{m/seg.})$  y  $T_2(50^\circ\text{C})$ , las rodajas de plátano llegan al punto de estabilización (punto B) en 42 minutos, alcanzando la humedad de equilibrio (punto C) en las condiciones de secado en 61 minutos, para llegar al primer periodo decreciente (punto D) en 111 minutos y finalmente llegar al segundo periodo de secado decreciente (punto E) en 150 minutos.

Figura 17. Pérdida de peso en función al tiempo en el secado de plátano a  $V_1=0.5\text{m/seg.}$  y  $T = 40$  y  $50^\circ\text{C}$  sin recirculación.



En el Anexo 4 Cuadro 11, se presenta los resultados de la pérdida de peso en el proceso de secado de plátano, considerando una velocidad de flujo de aire de 2(1m/seg.) y temperatura de 40 y 50°C, sin recirculación. En la Figura 18, se presenta la curva de pérdida de peso del plátano en función del tiempo, donde podemos observar que la humedad inicial de secado presento una variación en 02 gramos de agua, observándose también que ha condiciones de secado de  $V_2$ (1m/seg.) y  $T_1$  (40°C), las rodajas de plátano llegan al punto de estabilización (punto B) en 60 minutos, alcanzando la humedad de equilibrio (punto C) en las condiciones de secado en 89 minutos, para llegar al primer periodo de secado decreciente (punto D) en 120 minutos y finalmente llegar al segundo periodo de decreciente (punto E) en 150 minutos. En tanto a las condiciones de  $V_2$  (1m/seg.) y  $T_2$  (50°C), las rodajas de plátano llegan al punto de estabilización (punto b) en 43 minutos, alcanzando la humedad de equilibrio (punto c) en las condiciones de secado en 69 minutos, para llegar al primer periodo decreciente (punto d) en 95 minutos y finalmente llegar al segundo periodo de secado decreciente (punto e) en 150 minutos.

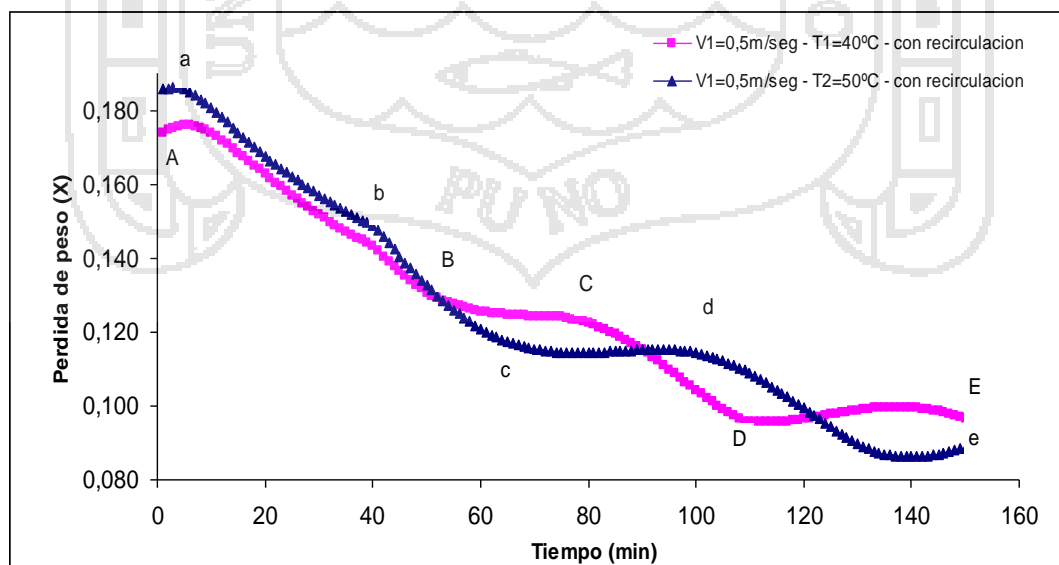
Figura 18. Pérdida de peso en función al tiempo en el secado de plátano a  $V_2= 1\text{m/seg.}$  y  $T= 40$  y  $50^\circ\text{C}$  sin recirculación.





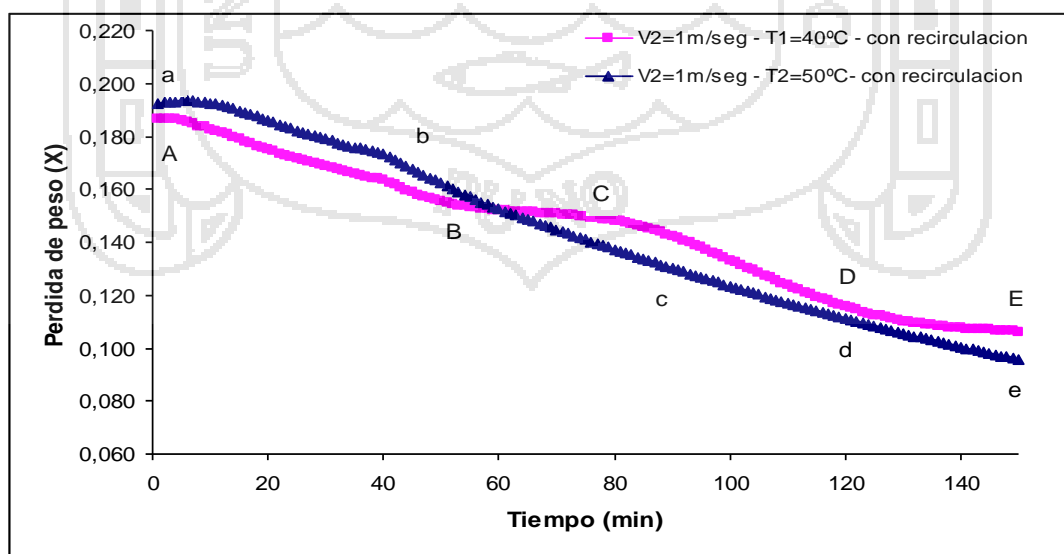
En el Anexo 5 Cuadro 12, se presenta los resultados de la pérdida de peso en el proceso de secado de plátano, considerando una velocidad de flujo de aire de 1(0.5m/seg.) y temperatura de 40 y 50°C, considerando la recirculación de aire. En la Figura 19, se presenta la curva de pérdida de peso del plátano en función del tiempo, donde podemos observar que la humedad inicial de secado presento una variación en 12 gramos de agua, observándose también que ha condiciones de secado de  $V_1$  (0.5m/seg.) y  $T_1$  (40°C), las rodajas de plátano llegan al punto de estabilización (punto B) en 54 minutos, alcanzando la humedad de equilibrio (punto C) en las condiciones de secado en 82 minutos, para llegar al primer periodo de secado decreciente (punto D) en 109 minutos y finalmente llegar al segundo periodo de decreciente (punto E) en 150 minutos. En tanto a las condiciones de  $V_1$  (0.5m/seg.) y  $T_2$  (50°C), las rodajas de plátano llegan al punto de estabilización (punto b) en 42 minutos, alcanzando la humedad de equilibrio (punto c) en las condiciones de secado en 60 minutos, para llegar al primer periodo decreciente (punto d) en 102 minutos y finalmente llegar al segundo periodo de secado decreciente (punto e) en 150 minutos.

Figura 19. Pérdida de peso en función al tiempo en el secado de plátano a  $V_1=0.5\text{m/seg.}$  y  $T = 40$  y  $50^\circ\text{C}$  con recirculación.



En el Anexo 5 Cuadro 12, se presenta los resultados de la pérdida de peso en el proceso de secado de plátano, considerando una velocidad de flujo de aire de 2(1m/seg.) y temperatura de 40 y 50°C, considerando la recirculación de aire. En la Figura 20, se presenta la curva de pérdida de peso del plátano en función del tiempo, donde podemos observar que la humedad inicial de secado presento una variación en 06 gramos de agua, observándose también que ha condiciones de secado de  $V_2$  (1m/seg.) y  $T_1$  (40°C), las rodajas de plátano llegan al punto de estabilización (punto B) en 52 minutos, alcanzando la humedad de equilibrio (punto C) en las condiciones de secado en 78 minutos, para llegar al primer periodo de secado decreciente (punto D) en 120 minutos y finalmente llegar al segundo periodo de decreciente (punto E) en 150 minutos. En tanto a las condiciones de  $V_2$  (1m/seg.) y  $T_2$  (50°C), las rodajas de plátano llegan al punto de estabilización (punto b) en 45 minutos, alcanzando la humedad de equilibrio (punto c) en las condiciones de secado en 88 minutos, para llegar al primer periodo decreciente (punto d) en 120 minutos y finalmente llegar al segundo periodo de secado decreciente (punto e) en 150 minutos.

Figura 20. Pérdida de peso en función al tiempo en el secado de plátano a  $V_2 = 1\text{m/seg.}$  y  $T = 40$  y  $50^\circ\text{C}$  con recirculación.



4.2.4. Pruebas de comparaciones múltiples de Duncan para la velocidad de aire de secado en pérdida de humedad en plátano.

En el Anexo 6 Cuadro 13, se presenta los valores de pérdida de peso en el periodo de estabilización A-B. Para el análisis estadístico del efecto de la velocidad de aire y en el Análisis de Varianza del Anexo 6 Cuadro 14, se observa que se evidenció diferencias estadísticas significativas en la pérdidas de peso hasta llegar al periodo de estabilización del plátano con las condiciones de secado por efecto de la velocidad del flujo de aire de secado, si mostraron efecto las variables de temperatura y la recirculación del aire. En la Tabla 7 de las pruebas de comparaciones múltiples se observa que la velocidad 2 tuvo mejor efecto en eliminar la humedad adherida a las rodajas de plátano comparativamente con la velocidad 1, lográndose eliminar en promedio 0,155461KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco y 0,139463KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco respectivamente.

Tabla 7. Prueba de comparaciones múltiple de Duncan para los efectos de velocidad de aire en el periodo de estabilización A-B. (Punto B).

| Temperatura | Nº Observaciones | Promedio    | Significancia |
|-------------|------------------|-------------|---------------|
| 1           | 12               | 0,139463    | a             |
| 2           | 12               | 0,155461    | b             |
| 1 - 2       |                  | *-0,0159983 |               |

En el Anexo 6 Cuadro 15, se presenta los valores de pérdida de peso en el periodo constante B-C. Para el análisis estadístico del efecto de la velocidad de aire y en el Análisis de Varianza del Anexo 6 Cuadro 16, se observa que para los datos de pérdida de humedad en función al tiempo se evidenció diferencias estadísticas significativas en la pérdidas de peso hasta llegar al punto crítico del plátano con las condiciones de secado por efecto de la velocidad del flujo de aire de secado y no mostraron efecto alguno las variables de temperatura y la recirculación del aire. En la

Tabla 8 de las pruebas de comparaciones múltiples se observa que la velocidad 2 tuvo mejor efecto en eliminar la humedad adherida a las rodajas de plátano comparativamente con la velocidad 1, lográndose eliminar en promedio 0,119429 Kg H<sub>2</sub>O/Kg sólido seco y 0,136002Kg H<sub>2</sub>O/Kg sólido seco respectivamente.

Tabla 8. Prueba de comparaciones múltiple de Duncan para los efectos de velocidad de aire en el periodo constante B-C. (Punto C).

| Velocidad | Nº Observaciones | Promedio  | Significancia |
|-----------|------------------|-----------|---------------|
| 2         | 12               | 0,119429  | a             |
| 1         | 12               | 0,136002  | b             |
| 1 - 2     |                  | 0,0165735 |               |

En el Anexo 6 Cuadro 17, se presenta los valores de pérdida de peso en el primer periodo decreciente C-D. Para el análisis estadístico del efecto de la velocidad de aire y en el Análisis de Varianza del Anexo 6 Cuadro 18, se observa que para los datos de pérdida de peso en función al tiempo no se evidenció diferencias estadísticas significativas en la pérdidas de humedad hasta llegar al primer periodo decreciente del plátano con las condiciones de secado por efecto de la velocidad del flujo de aire de secado y no mostraron efecto alguno las variables de temperatura y la recirculación del aire.

En el Anexo 6 Cuadro 19, se presenta los valores de pérdida de peso en el segundo periodo decreciente D-E. Para el análisis estadístico del efecto de la velocidad de aire y en el Análisis de Varianza del Anexo 6 Cuadro 20, se observa que para los datos de pérdida de peso en función al tiempo no se evidenció diferencias estadísticas significativas en la pérdidas de humedad hasta llegar al segundo periodo decreciente del plátano con las condiciones de secado por efecto de la

velocidad del flujo de aire de secado y no mostraron efecto alguno las variables de temperatura y la recirculación del aire.

En las curvas de pérdida de peso Figuras 18 y 20 observamos que, sí tiene efecto las velocidades de aire y temperaturas altas de  $V_2 = 1\text{m/s}$  y  $T_2 = 50^\circ\text{C}$  sin y con recirculación en un tiempo promedio de 150 minutos, retirando en ese lapso de tiempo mayor cantidad de agua  $0.1913\text{ Kg H}_2\text{O/Kg s.s.}$ ,  $0.3542\text{ Kg H}_2\text{O/Kg s.s.}$  respectivamente, Carranza y Sánchez (1992), quien realizó un estudio de cinética de secado de plátano reporta que, la temperatura apropiada secado es de  $50^\circ\text{C}$  con una velocidad de viento de  $7.62\text{ m/s}$  y un tiempo promedio de 180 minutos, retirando de la materia prima un contenido de humedad de  $0.40\text{ Kg H}_2\text{O/Kg s.s.}$  Tellez (2001), diseñó y construyó un secador por convección forzada para uso de laboratorio con una capacidad de  $5\text{Kg}$  por carga y evaluó el secado de plátano, secó  $34\text{ g}$  de plátano con una humedad de  $25.84\text{ g}$  de agua obteniéndose una materia seca de  $11\text{ g}$  todo el proceso de secado duró 113 minutos.

Demostrando que la velocidad de aire y la temperatura es un factor determinante para el proceso de secado de plátano.

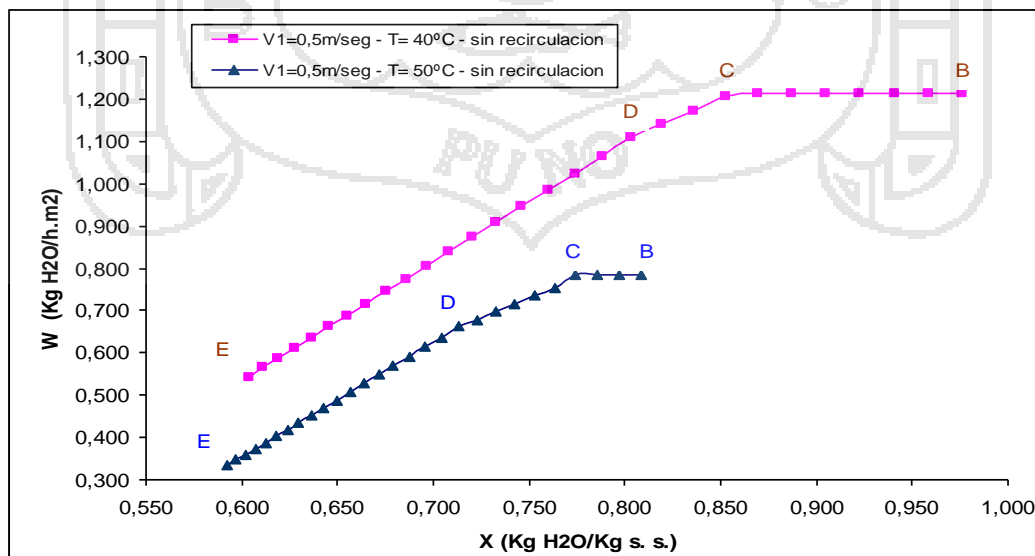
En las Figuras 17, 18, 19 y 20 se observan las curvas obtenidas de pérdida peso en función al tiempo para el secado de plátanos en las condiciones de estudio y se presentan las curvas clásicas que rigen en los alimentos, Geankoplis (1998), indica que, existe un periodo de secado a velocidad constante y un periodo de velocidad decreciente siendo este último el que predomina durante el proceso de secado, por lo que es más estudiado en el secado de alimentos.

4.3. RESULTADOS DE VELOCIDAD DE SECADO POR EFECTO DE LA RECIRCULACIÓN DE AIRE SOBRE LA VELOCIDAD DE SECADO DE QUINUA Y PLÁTANO.

4.3.1. Resultados de velocidad de secado por efecto de recirculación en quinua.

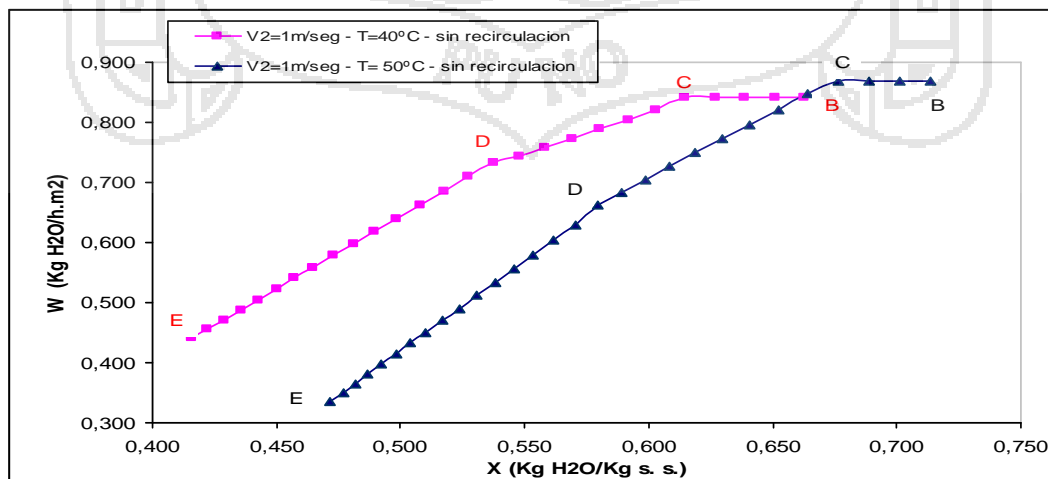
En el Anexo 7 Cuadro 21, Figura 21 se presenta los resultados de velocidad 1(0.5m/seg.), temperatura 1(40°C) sin recirculación, muestra un valor de secado a velocidad constante de 1.2052 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup> retirando durante este periodo 0.8524 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco. Durante el primer periodo de secado a velocidad decreciente, retira una humedad de 0.8036 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco y en el segundo periodo se secado a velocidad decreciente retira 0.6034 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco. Durante el primer periodo de secado a velocidad decreciente el valor de la velocidad de secado disminuye hasta un valor de 1.1082 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup>, continuando descendiendo durante el segundo periodo de secado a velocidad decreciente hasta un valor 0.5435 KgH<sub>2</sub>O/h. tanto, en el Anexo 7 Cuadro 22, Figura 21 se presenta los resultados de velocidad 1 (0.5m/seg.), temperatura 2(50°C) sin recirculación, muestra un valor de secado a velocidad constante de 0.7545 KgH<sub>2</sub>O /h.m<sup>2</sup> retirando durante este periodo 0.76341 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco. Durante el primer periodo de secado a velocidad decreciente retira una humedad de 0.7136 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco y en el segundo periodo se secado a velocidad decreciente retira 0.5924 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco. Durante el primer periodo de secado a velocidad decreciente, el valor de la velocidad de secado disminuye hasta un valor de 0.6616 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup>, continuando descendiendo durante el segundo periodo de secado a velocidad decreciente hasta un valor 0.3345KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup>.

Figura 21. Velocidad de secado de quinua, V<sub>1</sub> = 0.5m/seg. y T = 40 y 50°C sin recirculación.



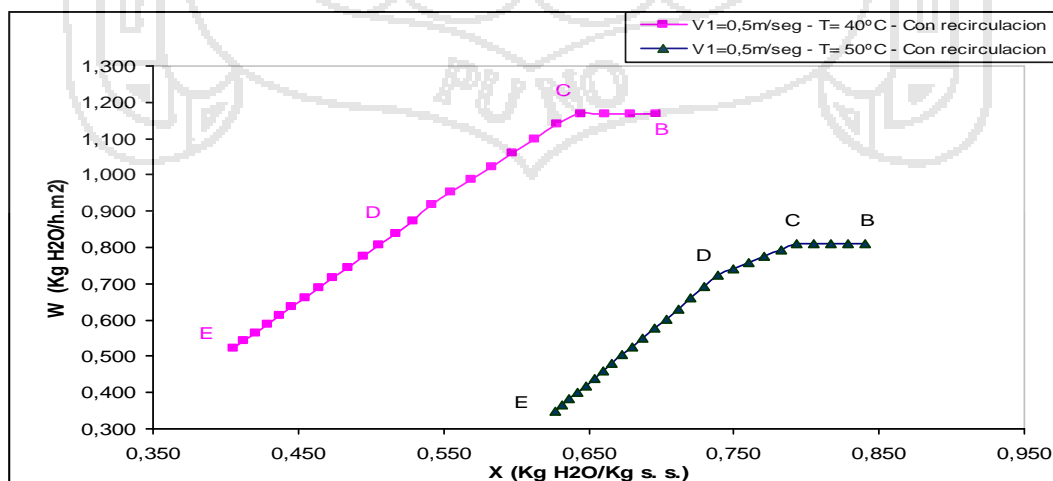
En el Anexo 7 Cuadro 23, Figura 22 se presenta los resultados de velocidad 2 (1m/seg.), temperatura 1(40°C) sin recirculación, muestra un valor de secado a velocidad constante de 0.8212 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup> retirando durante este periodo 0.6030 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco. Durante el primer periodo de secado a velocidad decreciente, retira una humedad de 0.5373 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco y en el segundo periodo se secado a velocidad decreciente retira 0.4159 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco. Durante el primer periodo de secado a velocidad decreciente el valor de la velocidad de secado disminuye hasta un valor de 0.7340 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup>, continuando descendiendo durante el segundo periodo de secado a velocidad decreciente hasta un valor 0.4408 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup>, En tanto, en el Anexo 7 Cuadro 24, Figura 22 se presenta los resultados de velocidad 2(1m/seg.), temperatura 2(50°C) sin recirculación, muestra un valor de secado a velocidad constante de 0.8470 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup> retirando durante este periodo 0.6641 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco. Durante el primer periodo de secado a velocidad decreciente retira una humedad de 0.5703 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco y en el segundo periodo se secado a velocidad decreciente retira 0.4673 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco. Durante el primer periodo de secado a velocidad decreciente, el valor de la velocidad de secado disminuye hasta un valor de 0.6301 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup>, continuando descendiendo durante el segundo periodo de secado a velocidad decreciente hasta un valor 0.3226KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup>.

Figura 22. Velocidad de secado de quinua,  $V_2 = 1\text{m/seg.}$  y  $T = 40$  y  $50^\circ\text{C}$  sin recirculación.



En el Anexo 8 Cuadro 25, Figura 23 se presenta los resultados de velocidad 1 (0.5m/seg), temperatura 1(40°C) con recirculación, muestra un valor de secado a velocidad constante de 1.1832 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup> retirando durante este periodo 0.6449 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco. Durante el primer periodo de secado a velocidad decreciente retira una humedad de 0.5245 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco y en el segundo periodo de secado a velocidad decreciente retira 0.4050 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco. Durante el primer periodo de secado a velocidad decreciente, el valor de la velocidad de secado disminuye hasta un valor de 0.8714 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup>, continuando descendiendo durante el segundo periodo de secado a velocidad decreciente hasta un valor 0.5226 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup>, En tanto, en el Anexo 8 Cuadro 26, Figura 23 se presenta los resultados de velocidad 1 (0.5m/seg.), temperatura 2(50°C) con recirculación, muestra un valor de secado a velocidad constante de 0.7945 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup> retirando durante este periodo 0.7820 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco. Durante el primer periodo de secado a velocidad decreciente retira una humedad de 0.7394 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco y en el segundo periodo de secado a velocidad decreciente retira 0.6269 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco. Durante el primer periodo de secado a velocidad decreciente, el valor de la velocidad de secado disminuye hasta un valor de 0.7231 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup>, continuando descendiendo durante el segundo periodo de secado a velocidad decreciente hasta un valor 0.3499 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup>.

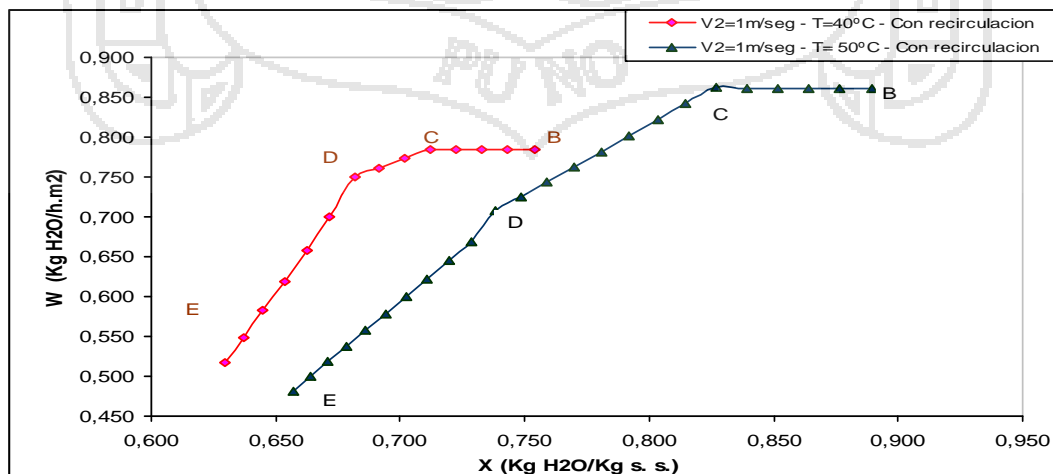
Figura 23. Velocidad de secado de quinua, V<sub>1</sub> = 0.5m/seg. y T = 40 y 50°C con recirculación.





En el Anexo 8 Cuadro 27, Figura 24 se presenta los resultados de velocidad 2 (1m/seg), temperatura 1(40°C) con recirculación, muestra un valor de secado a velocidad constante de 0.7896 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup> retirando durante este periodo 0.7118 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco. Durante el primer periodo de secado a velocidad decreciente retira una humedad de 0.6719 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco y en el segundo periodo de secado a velocidad decreciente retira 0.6298 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco. Durante el primer periodo de secado a velocidad decreciente, el valor de la velocidad de secado disminuye hasta un valor de 0.7006 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup>, continuando descendiendo durante el segundo periodo de secado a velocidad decreciente hasta un valor 0.5105 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup>, En tanto, en el Anexo 8 Cuadro 28, Figura 24 se presenta los resultados de velocidad 2 (1m/seg), temperatura 2(50°C) con recirculación, muestra un valor de secado a velocidad constante de 0.78632 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup> retirando durante este periodo 0.8270 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco. Durante el primer periodo de secado a velocidad decreciente retira una humedad de 0.7287 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco y en el segundo periodo de secado a velocidad decreciente retira 0.6150 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco. Durante el primer periodo de secado a velocidad decreciente, el valor de la velocidad de secado disminuye hasta un valor de 0.6688 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup>, continuando descendiendo durante el segundo periodo de secado a velocidad decreciente hasta un valor 0.3729 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup>.

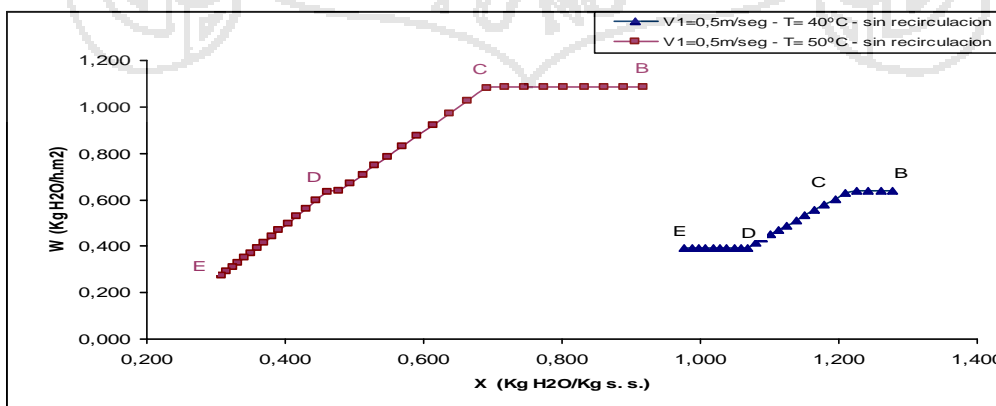
Figura 24. Velocidad de secado de quinua, V<sub>2</sub> = 1m/seg. y T = 40 y 50°C con recirculación.



4.3.2. Resultados de velocidad de secado por efecto de recirculación en plátano.

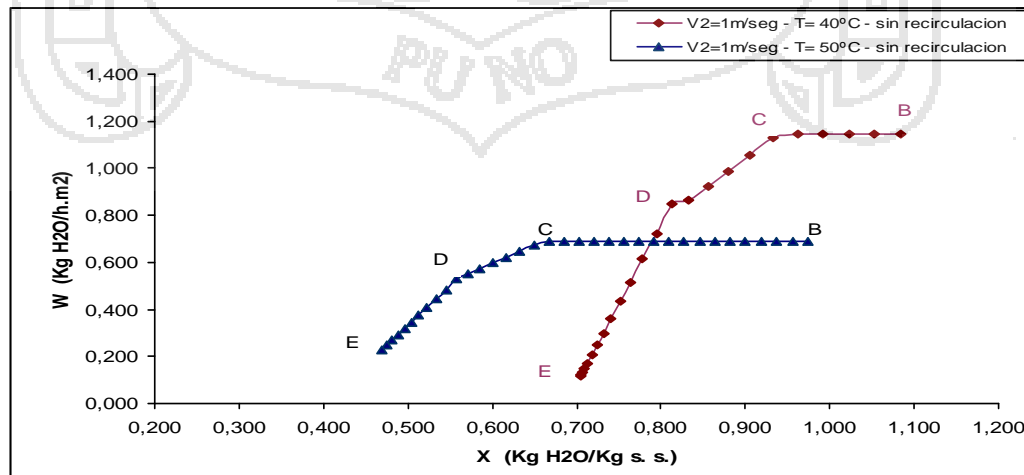
En el Anexo 9 Cuadro 29, Figura 25 se presenta los resultados de velocidad 1 (0.5m/seg.), temperatura 1(40°C) sin recirculación, muestra un valor de secado a velocidad constante de 0.6289 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup> retirando durante este periodo 1.2106 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco. Durante el primer periodo de secado a velocidad decreciente retira una humedad de 1.0687 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco y en el segundo periodo se secado a velocidad decreciente retira 0.9770 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco. Durante el primer periodo de secado a velocidad decreciente, el valor de la velocidad de secado disminuye hasta un valor de 0.3940 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup>, continuando descendiendo durante el segundo periodo de secado a velocidad decreciente hasta un valor 0.3915 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup>, En tanto, en el Anexo 9 Cuadro 30, Figura 25 se presenta los resultados de velocidad 1 (0.5m/seg), temperatura 2(50°C) sin recirculación, muestra un valor de secado a velocidad constante de 1.0821 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup> retirando durante este periodo 0.6906 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco. Durante el primer periodo de secado a velocidad decreciente retira una humedad de 0.4610 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco y en el segundo periodo se secado a velocidad decreciente retira 0.3094 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco. Durante el primer periodo de secado a velocidad decreciente, el valor de la velocidad de secado disminuye hasta un valor de 0.6322 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup>, continuando descendiendo durante el segundo periodo de secado a velocidad decreciente hasta un valor 0.2746 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup>.

Figura 25. Velocidad de secado plátano, V<sub>1</sub>=0.5m/seg. y T=40 y50°C sin recirculación.



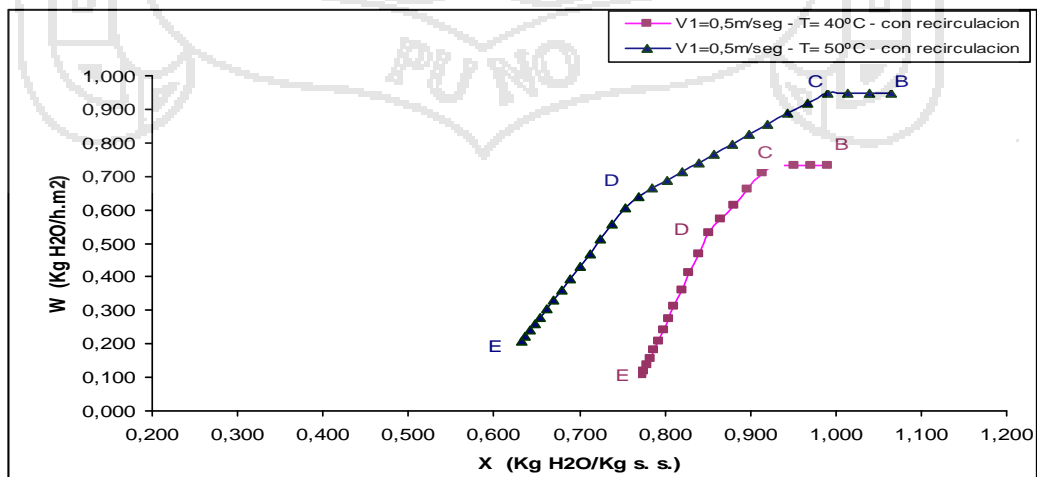
En el Anexo 9 Cuadro 31, Figura 26 se presenta los resultados de velocidad 2 (1m/seg.), temperatura 1(40°C) sin recirculación, muestra un valor de secado a velocidad constante de 1.1304 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup> retirando durante este periodo 0.9332 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco. Durante el primer periodo de secado a velocidad decreciente, retira una humedad de 0.8131 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco y en el segundo periodo de secado a velocidad decreciente retira 0.7048 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco. Durante el primer periodo de secado a velocidad decreciente el valor de la velocidad de secado disminuye hasta un valor de 0.8463 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup>, continuando descendiendo durante el segundo periodo de secado a velocidad decreciente hasta un valor 0.1166 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup>, En tanto, en el Anexo 9 Cuadro 32, Figura 26 se presenta los resultados de velocidad 2(1m/seg), temperatura 2(50°C) sin recirculación, muestra un valor de secado a velocidad constante de 0.6721 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup> retirando durante este periodo 0.6499 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco. Durante el primer periodo de secado a velocidad decreciente retira una humedad de 0.5455 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco y en el segundo periodo de secado a velocidad decreciente retira 0.4690 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco. Durante el primer periodo de secado a velocidad decreciente, el valor de la velocidad de secado disminuye hasta un valor de 0.4828 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup>, continuando descendiendo durante el segundo periodo de secado a velocidad decreciente hasta un valor 0.2277 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup>.

Figura 26. Velocidad de secado de plátano, V<sub>2</sub> = 1m/seg y T=40 y 50°C sin recirculación.



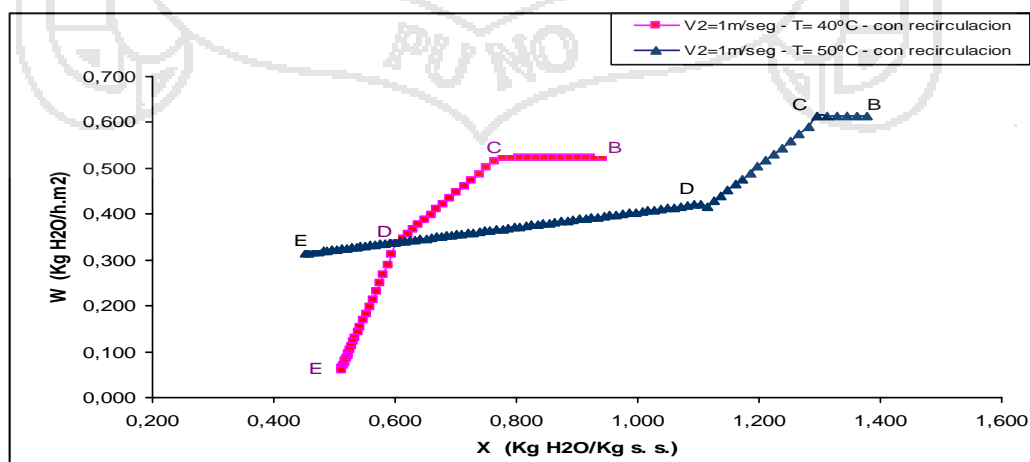
En el Anexo 10 Cuadro 33, Figura 27 se presenta los resultados de velocidad 1 (0.5m/seg.), temperatura 1(40°C) con recirculación, muestra un valor de secado a velocidad constante de 0.7111 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup> retirando durante este periodo 0.9138 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco. Durante el primer periodo de secado a velocidad decreciente, retira una humedad de 0.8393 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco y en el segundo periodo de secado a velocidad decreciente retira 0.7738 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco. Durante el primer periodo de secado a velocidad decreciente el valor de la velocidad de secado disminuye hasta un valor de 0.4678 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup>, continuando descendiendo durante el segundo periodo de secado a velocidad decreciente hasta un valor 0.1089 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup>, En tanto, en el Anexo 10 Cuadro 34, Figura 27 se presenta los resultados de velocidad 1(0.5m/seg.), temperatura 2(50°C) con recirculación, muestra un valor de secado a velocidad constante de 0.92004 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup> retirando durante este periodo 0.9663 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco. Durante el primer periodo de secado a velocidad decreciente retira una humedad de 0.7534 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco y en el segundo periodo de secado a velocidad decreciente retira 0.6327 Kg H<sub>2</sub>O/Kg sólido seco. Durante el primer periodo de secado a velocidad decreciente, el valor de la velocidad de secado disminuye hasta un valor de 0.60461 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup>, continuando descendiendo durante el segundo periodo de secado a velocidad decreciente hasta un valor 0.2091 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup>.

Figura 27. Velocidad de secado de plátano, V<sub>1</sub>=0.5m/seg. y T=40 y 50°C con recirculación.



En el Anexo 10 Cuadro 35, Figura 28 se presenta los resultados de velocidad 2(1m/seg.), temperatura 1(40°C) con recirculación, muestra un valor de secado a velocidad constante de 0.5158 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup> retirando durante este periodo 0.7646 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco. Durante el primer periodo de secado a velocidad decreciente, retira una humedad de 0.6035 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco y en el segundo periodo de secado a velocidad decreciente retira 0.5121 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco. Durante el primer periodo de secado a velocidad decreciente el valor de la velocidad de secado disminuye hasta un valor de 0.3347 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup>, continuando descendiendo durante el segundo periodo de secado a velocidad decreciente hasta un valor 0.0604 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup>. En tanto, en el Anexo 10 Cuadro 36, Figura 28 se presenta los resultados de velocidad 2(1m/seg.), temperatura 2(50°C) con recirculación, muestra un valor de secado a velocidad constante de 0.5914 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup> retirando durante este periodo 1.2816 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco. Durante el primer periodo de secado a velocidad decreciente retira una humedad de 1.1044 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco y en el segundo periodo de secado a velocidad decreciente retira 0.4513 KgH<sub>2</sub>O/Kg sólido seco. Durante el primer periodo de secado a velocidad decreciente, el valor de la velocidad de secado disminuye hasta un valor de 0.4321 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup>, continuando descendiendo durante el segundo periodo de secado a velocidad decreciente hasta un valor 0.3145 KgH<sub>2</sub>O/h.m<sup>2</sup>.

Figura 28. Velocidad de secado de plátano, V<sub>2</sub>=1m/seg. y T=40 y 50°C con recirculación.



En las curvas de velocidad de secado de quinua y plátano se observa el efecto del flujo de aire, a velocidad de flujo de aire más elevados retira un mayor contenido de humedad de la muestra sin recirculación en el periodo de velocidad decreciente en tanto que con recirculación de aire la velocidad de secado es menor este efecto se observa debido a que retorna parte de la humedad al interior de la cámara de secado. Este resultado confirma Marcilla (1999), la recirculación del aire permite aprovechar parte de la energía que arrastra consigo el aire húmedo de salida para la operación de secado. Además se puede regular la capacidad secadora del aire regulando el caudal de recirculación, con lo que aumenta la versatilidad del equipo, aunque cuanto mayor sea el grado de mezcla, más disminuirá la capacidad deshidratante del aire y el secado se realiza a velocidad más lenta, también Alberto de Dios (1996), menciona que la mayoría de las secadoras expulsan hacia el exterior el aire usado que ha atravesado la masa de los granos. Parte de este aire está caliente y poco saturado de humedad, si se lo utilizara nuevamente para aprovechar ese calor residual y esa escasa saturación incorporándolo a la corriente de aire que ingresa al ventilador o al quemador, o empleándolo para precalentar los granos húmedos, se puede conseguir una apreciable reducción del consumo de energía.

#### 4.4. RESULTADOS DE LA CALIDAD FÍSICO SENSORIAL DE QUINUA Y PLATANO

##### 4.4.1. Resultados de la calidad físico sensorial de quinua (color, olor y textura).

En el Anexo 13 Cuadro 37, se muestran los resultados de la calidad físico sensorial de quinua para el color como respuesta de los panelistas y en el Análisis de Varianza, Anexo 13 Cuadro 38 se observa que no existe diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, así como también dentro de cada tratamiento dándonos a entender que el color de la quinua secado a  $T_1=40^\circ$  y  $T_2=50^\circ$  °C presentan tonos similares, lo mismo ocurre con la velocidad de aire y su recirculación que no mostraron efecto alguno, pudiendo considerarse para el secado de la quinua cualquiera de las variantes en estudio para el prototipo desarrollado.

En el Anexo 13 Cuadro 39, se muestran los resultados de la calidad físico sensorial de quinua para el olor como respuesta de los panelistas y en el Análisis de Varianza, Anexo 13 cuadro 40, se observa que no existe diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos así como también dentro de cada tratamiento dándonos a entender que el olor de la quinua secado a  $T_1=40^\circ$  y  $T_2=50^\circ$  °C presentan olores similares, lo mismo ocurre con la velocidad de aire y su recirculación que no mostraron efecto alguno, pudiendo considerarse para el secado de la quinua cualquiera de las variantes en estudio para el prototipo desarrollado.

En el Anexo 13 Cuadro 41, se muestran los resultados de la calidad físico sensorial de quinua para la textura como respuesta de los panelistas y en el Análisis de Varianza, Anexo 13 cuadro 42, se observa que si existe diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos así como también dentro de cada tratamiento dándonos a entender que la textura de la quinua

secado a  $T_2=50^\circ\text{C}$  presenta una dureza leve con respecto al secado de la quinua a  $T_1=40^\circ$  lo mismo ocurre con la velocidad de aire y su recirculación que si mostraron efecto en la textura.

En la Tabla 9, de las pruebas de comparaciones múltiples de Duncan. Se observan que las muestras sometidas a un proceso de secado con parámetros controlados de velocidad de aire, temperatura y recirculación de aire, demuestra que si existen diferencias estadísticamente significativas con respecto a la textura esto nos indica que a velocidad de 1m/seg y sin recirculación el secado es más eficiente.

Tabla 9. Prueba de Duncan para análisis sensorial respecto a textura de quinua.

| Muestras | Nº Observaciones | Promedio | Significancia |
|----------|------------------|----------|---------------|
| M4       | 10               | 2,4      | a             |
| M2       | 10               | 2,6      | a b           |
| M3       | 10               | 2,6      | a b           |
| M1       | 10               | 2,9      | a b c         |
| M6       | 10               | 2,9      | a b c         |
| M8       | 10               | 3,2      | b c           |
| M5       | 10               | 3,3      | b c           |
| M7       | 10               | 3,4      | c             |



#### 4.4.2. Resultados de la calidad físico sensorial de plátano (color, aroma, sabor y textura).

En el Anexo 14 Cuadro 43, se muestran los resultados de la calidad físico sensorial de plátano para el color como respuesta de los panelistas y en el Análisis de Varianza, Anexo 14 cuadro 44 se observa que sí existe diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos así como también dentro de cada tratamiento dándonos a entender que el color del plátano secado a  $T_1=40^{\circ}\text{C}$ , velocidad  $V_1=0.5$  m/seg y con recirculación presenta un color desagradable con respecto al secado con  $T_2= 50^{\circ}\text{C}$ , velocidad  $V_2=1$  m/seg y sin recirculación, lo mismo ocurre con la velocidad de aire y su recirculación que si mostraron efecto en el color .

En la Tabla 10, de las pruebas de comparaciones múltiples de Duncan. Se observan que las muestras sometidas a un proceso de secado con parámetros controlados de velocidad de aire, temperatura y recirculación de aire, demuestra que, si existen diferencias estadísticamente significativas con respecto al color esto nos indica que muestra 7 (M7) presenta mejor color.

Tabla 10. Prueba de Duncan para análisis sensorial respecto al color de plátano.

| Muestras | Nº Observaciones | Promedio | Significancia |
|----------|------------------|----------|---------------|
| M4       | 10               | 1,9      | a             |
| M2       | 10               | 2,6      | a b           |
| M6       | 10               | 3,1      | a b           |
| M1       | 10               | 3,2      | a b c         |
| M8       | 10               | 3,3      | a b c         |
| M3       | 10               | 3,5      | b c           |
| M5       | 10               | 3,9      | b c           |
| M7       | 10               | 4,0      | c             |

En el Anexo 14 Cuadro 45, se muestran los resultados de la calidad físico sensorial de plátano para el aroma como respuesta de los panelistas y en el Análisis de Varianza, Anexo 13 Cuadro 46 se observa que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos así como también dentro de cada tratamiento dándonos a entender que el aroma del plátano secado a 40° y 50 °C presenta el mismo aroma. Lo mismo ocurre con la velocidad de aire y su recirculación que no mostraron efecto alguno en aroma, pudiendo considerarse para el secado plátano cualquiera de las variantes en estudio para el prototipo desarrollado.

En el Anexo 14 Cuadro 47, se muestran los resultados de la calidad físico sensorial de plátano para el sabor como respuesta de los panelistas.

En el Análisis de Varianza, Anexo 14 Cuadro 48, se observa que no existe diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos así como también dentro de cada tratamiento dándonos a entender que el sabor de la plátano secado a 40° y 50 °C presentan el mismo sabor lo mismo ocurre con la velocidad de aire y su recirculación que no mostraron efecto alguno, pudiendo considerarse para el secado de la plátano cualquiera de las variantes en estudio para el prototipo desarrollado.

En el anexo 14 cuadro 49, se muestran los resultados de la calidad físico sensorial de plátano para la textura como respuesta de los panelistas y en el Análisis de Varianza, Anexo 14 Cuadro 50 se observa que si existe diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos así como también dentro de cada tratamiento dándonos a entender que la textura del plátano secado a  $T_1=40^{\circ}\text{C}$ , velocidad  $V_1=0.5$  m/seg y con recirculación presenta una textura regular con respecto a la muestra 7 (M7) lo mismo ocurre con la velocidad de aire y su recirculación que si mostraron efecto en la textura .

En la Tabla 11, de las pruebas de comparaciones múltiples de Duncan. Se observan que las muestras sometidas a un proceso de secado con parámetros controlados de velocidad de aire, temperatura y recirculación de aire, demuestra que si existen diferencias estadísticamente significativas con respecto a la textura esto nos indica que muestra 7(M7) presenta mejor textura.

Tabla 11. Prueba de Duncan para análisis sensorial respecto a la textura de plátano

| Muestras | Nº Observaciones | Promedio | Significancia |
|----------|------------------|----------|---------------|
| M4       | 10               | 2,2      | a             |
| M2       | 10               | 2,6      | a b           |
| M1       | 10               | 3,0      | a b           |
| M3       | 10               | 3,2      | b             |
| M8       | 10               | 3,2      | b             |
| M6       | 10               | 3,3      | b             |
| M7       | 10               | 3,4      | b             |
| M5       | 10               | 3,4      | b             |

La velocidad de flujo de aire y la temperatura son factores que afectan directamente a la calidad físico sensorial del plátano deshidratado, a velocidades de flujo de aire y temperaturas muy bajas y elevadas degradan el color y textura del producto. Ortiz (2003), indica que la temperatura es el factor que afecta directamente a la calidad del fruto deshidratado, las altas temperaturas degradan el color y un encogimiento en la textura del fruto, dándole una apariencia poco agradable, la madurez adecuada así como el buen empleo del pre-tratamiento en la preparación del plátano antes del proceso de secado son factores importantes que contribuyen en la calidad

del producto final. También Labuza (2003), menciona que, las propiedades sensoriales dependen en gran medida del contenido de humedad y de la actividad de agua de los alimentos.



## V. CONCLUSIONES.

De los resultados se concluye que:

1. Es factible desde el punto de vista técnico implementar sistemas con control adaptivo, para realizar pruebas experimentales de secado en quinua, plátano a distintas velocidades de flujo de aire, temperaturas y control de la recirculación, de manera automática, facilitando el registro de datos para el manejo y procesamiento adecuado.
2. La velocidad de secado influye en el tiempo de eliminación de agua durante el proceso de secado con mayor intensidad la  $V_2$  frente a  $V_1$  con manifestaciones diferentes en las etapas de secado y/o periodos de secado constante (B-C), punto crítico (C), primer periodo de secado decreciente (C-D) y segundo periodo decreciente (D-E).
3. El control adaptivo permite elaborar curvas de velocidad de secado características para cada parámetro en común, que facilitan la identificación de los periodos de secado de quinua y plátano tanto a temperaturas  $T_1=40^\circ\text{C}$  y  $T_2=50^\circ\text{C}$ , y permite identificar gráficamente el periodo de estabilización (A-B), velocidad de secado constante (B-C) Punto crítico (C), primer periodo decreciente (C-D), y segundo periodo de creciente (D-E), facilitando la diferenciación del efecto de la recirculación de aire sobre la velocidad de secado.
4. La quinua y los plátanos deshidratados a velocidades y temperaturas controladas ( $V_2=1\text{m/seg}$  y  $T_2= 50^\circ\text{C}$ ), sin recirculación muestran mayor aceptación organoléptica en color, sabor, aroma y textura.

## VI. RECOMENDACIONES.

Del estudio realizado se recomienda:

1. Realizar estudios con sistemas de control virtual, para el control y monitoreo de equipos con control adaptivo en procesos guiados desde sistema de redes a través de Internet.
2. Se recomienda efectuar pruebas de secado con diferentes productos y determinar tiempos de secado según especificaciones técnicas para cada caso.
3. Realizar estudios de sistematización de datos y evaluación de modelos matemáticos para establecer curvas de secado en los diferentes periodos, considerando los estudios de ingeniería estructural como tendencia moderna en aplicaciones de aspectos de ingeniería en procesamiento de productos deshidratados.
4. Realizar estudios técnicos para la instalación de equipos automatizados en plantas agroindustriales.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

1. ALBERTO de DIOS, C. 1996. Secado de granos y secadoras 1ra edición - Oficina Regional de la FAO, Santiago, Chile.
2. ANCCO V., T. 1998. Construcción de un secador solar con aire forzado y su evaluación en el secado de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) Puno – Perú. Tesis Ing. Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano.
3. BAZAN, J. y ESPINOZA, R. 1980. Calentamiento de Agua Para Uso Domestico y Aire Para Secado. Seminario Nacional de Energía Solar. Lima – Perú.
4. BORDA, W. y GAMARRA, W. 2003. Diseño y Construcción de un Equipo de Secado Para Lavado de Quinua (*Chenopodium quinoa willd*) Puno – Perú. Tesis Ing. Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano.
5. CARRANZA y SANCHEZ. 2002. Cinética de secado de *Musa paradisíaca* L. " Plátano" y *Manihot esculenta* Grantz "yuca" UNAP - Iquitos - Perú.
6. C.I.C.E.E. 1995. Deshidratación de Alimentos. UNA. La Molina - Lima - Perú.
7. CENTRO DE ENERGÍAS RENOVABLES (C.E.R.) UNI. 1991. Teoría y práctica de secado solar. UNI - GTZ. Lima - Perú.
8. CRAPISTE, G.H. 1997. Simulation of Drying Rates and Quality Changes during the Dehydration of Food Stuffs. U.S. A .
9. CHEFTEL H. y BESANCON P. 1993. Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos Ed. Acribia Zaragoza. España.

10. DIAZ ACOSTA, W. 1987. Cálculo y diseño de colectores solares para calentamiento de Aire. División de Energías. Lima - Perú
11. ESPINOZA, R. 1981. Manual de Almacenamiento de Granos. Editorial Hemisferio Sur S.A. Buenos Aire – Argentina.
12. FERRERO, JOSE MARIA. GUIJARRO, E. 1994. Instrumentación Electrónica. Sensores. España, servicio de publicaciones UPV.
13. FITO, P. 2007. Introducción al Secado por Aire Caliente 1<sup>ra</sup> edición. Editorial UPV, Valencia – España.
14. FOUST ALAN S. 1996. Principios de Operaciones Unitarias. Editorial. Continental S.A. De C.V. México. Quinta edición.
15. GARRIDO, P. 2000. ABC de la automatización.  
(Documento en línea). Disponible:  
<http://www.aie.cl/ca-abc.htm> . (Consulta: 2008, Enero).
16. GEANKOPLIS C. 1998. Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias. Ed. Continental S.P. de C.V. México.
17. GOLDBERG, HAROLD. 2000. What is Instrumentations Institute of Electrical and Electronics Engineers ( IIEEE) Instrumentation And Measurement Magazine. New Brunswick. U.S.A.
18. HERRERA R. 1996. Resultado de algunos experimentos de secado de grano. Departamento d Ingeniería de Procesos UNA la Molina
19. HORTA SANTOS, J. 1982. Técnicas de Automatización Industrial Ed. Limusa. México.
20. LABUZA, T. P. 2003. Literatura Review on water Activity and Glass Transition.  
[http://fscn.umn.edu/ted\\_Labuza/PDF\\_files/papers/Aw\\_and\\_Glass\\_transsition](http://fscn.umn.edu/ted_Labuza/PDF_files/papers/Aw_and_Glass_transsition)



21. LOAYZA I. y VELASQUEZ B. 2007. Construcción y Evaluación del Secador de Flujo Continuo para granos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.).Puno – Perú. Tesis Ing. Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano.
22. MARCILLA G. A. 1999. Ciencia de los alimentos Ed. Acribia S.A. España
23. MARTÍN SÁNCHEZ, J. M. y J. RODELLAR. 2005. Control Adaptativo Predictivo Experto: Metodología, Diseño y Aplicación. Editado por la UNED
24. Mc. CABE W. L. y SMITH. J. C. 1997. Operaciones Básicas de Ingeniería Química Ed. McGraw Hill. Nueva Cork. U.S.A.
25. MENDIBURU HENRY ANTONIO. 2003. Automatización Medio Ambiental. Lima – Perú.
26. MUJUMDAR, Arun S. 2000. Handbook of Industrial Drying. Marcel Dekker, Inc. U.S.A.
27. NATIONAL INSTRUMENTS. 2004. Our History. History and Awards (Documento en línea). Disponible: <http://www.ni.com/company/history.htm> . (Consulta: 2007, Enero).
28. NATIONAL INSTRUMENTS. 2003. User Manual"LabVIEW 8.2, April 2003 Edition Part Number 322661B-01.
29. NONJEBEL y MOSS. 1985. Secado de los sólidos en la Industria Química, Edit. Reverte S.A Bogotá -Buenos Aires.
30. NONHEMBEL y MOSS, A.A. 1979. Procesos químicos.
31. NUÑEZ, C.1998. Curso de Deshidratación y Determinación de vida en anaquel de productos Agrícolas F.C.A. UNA. Puno.
32. OCON y TOJO. 1986. Problemas de Ingeniería Química. Tomo V. ediciones Aguilar. Madrid España.

33. ORTIZ ALFARO B. S. 2003. Secado con bomba de calor para la deshidratación de frutos. Universidad de las Américas Puebla. México.
34. PERRY, Robert H. 1984. Perry's Chemical Engineers Handbook. Sexta edición. Mc Graw Hill. Nueva York.
35. PERRY, R. H y CHILTON, C.H. 1981. Manual de Ingeniero Químico, McGraw Hill. Nueva York.
36. PROYECTO SECADO SOLAR. 1984. Experiencia Peruana en el Secado Solar de Productos Agrícolas y Alimenticios. Informe 03, Lima-Perú.
37. RANKEN, M. P., 1993. Manual de Industria de los Alimentos. 2da edición Acribia S.A. Zaragoza - España.
38. RODRIGUEZ, W. 1986. Procesamiento de quinua desarrollo de la pequeña y mediana industria alimentaria en Latinoamérica. Taller Feria. UNALM, INDDA, FAO.
39. ROSSI y GONZALO Roa. 1980. Secagen e Armazenamento de Productos Agropecuarios con uso de Energía Solar e ar natural. Sao Paulo – Brasil.
40. SIMMONDS, N.W. 1973. Los Plátanos. Barcelona España: Editorial Blume. 539 pg.
41. TELLEZ, L. 2001. Diseño y construcción de un secador por convección forzada. Puno, Perú.159 p. Tesis Ing. Químico, Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano.
42. TRIGOS, P. y PRIETO, J. 2000. Diseño, construcción y simulación de un secador con circulación forzada de aire en lechos empacados y lechos fluidizados y su evaluación en el secado de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Puno, Perú.135 pg. Tesis Ing. Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano.

43. VECTRON. 1996. Instructivo de Operación, Departamento Divisional de Medición, División Norte, CFE. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia México.
44. WATTS. 1992. Evaluación sensorial de los Alimentos. Ed. Agraria Lima.
45. (<http://www.measurementcomputing.com>).
46. (<http://www.nicom.com>).





ANEXO 1.

Cuadro 1. Pérdida de peso de granos de quinua en el proceso de secado a velocidades 1(0.5m/seg) y 2(1m/seg); temperaturas 1(40°C) y 2(50°C) sin recirculación en Kg.

| Tiempo (minutos) | V <sub>1</sub> =0,5m/seg - T <sub>1</sub> =40°C - sin recirculación | V <sub>1</sub> =0,5m/seg - T <sub>2</sub> =50°C - sin recirculación | V <sub>2</sub> =1m/seg - T <sub>1</sub> =40°C sin recirculación | V <sub>2</sub> =1m/seg - T <sub>2</sub> =50°C sin recirculación |
|------------------|---|---|---|---|
| 1                | 0,2394  | 0,2421  | 0,2218  | 0,2301  |
| 2                | 0,2404  | 0,2428  | 0,2233  | 0,2296  |
| 3                | 0,2408  | 0,2428  | 0,2240  | 0,2291  |
| 4                | 0,2406  | 0,2425  | 0,2241  | 0,2286  |
| 5                | 0,2399  | 0,2420  | 0,2239  | 0,2279  |
| 6                | 0,2386  | 0,2412  | 0,2234  | 0,2270  |
| 7                | 0,2372  | 0,2402  | 0,2227  | 0,2259  |
| 8                | 0,2355  | 0,2391  | 0,2217  | 0,2246  |
| 9                | 0,2336  | 0,2378  | 0,2206  | 0,2232  |
| 10               | 0,2315  | 0,2364  | 0,2193  | 0,2216  |
| 11               | 0,2292  | 0,2350  | 0,2180  | 0,2200  |
| 12               | 0,2270  | 0,2336  | 0,2165  | 0,2184  |
| 13               | 0,2247  | 0,2322  | 0,2150  | 0,2168  |
| 14               | 0,2224  | 0,2307  | 0,2135  | 0,2152  |
| 15               | 0,2201  | 0,2292  | 0,2120  | 0,2137  |
| 16               | 0,2178  | 0,2278  | 0,2104  | 0,2122  |
| 17               | 0,2156  | 0,2264  | 0,2089  | 0,2107  |
| 18               | 0,2134  | 0,2251  | 0,2073  | 0,2093  |
| 19               | 0,2112  | 0,2238  | 0,2058  | 0,2079  |
| 20               | 0,2091  | 0,2225  | 0,2044  | 0,2065  |
| 21               | 0,2071  | 0,2212  | 0,2029  | 0,2053  |
| 22               | 0,2051  | 0,2200  | 0,2015  | 0,2040  |
| 23               | 0,2033  | 0,2189  | 0,2001  | 0,2028  |
| 24               | 0,2014  | 0,2177  | 0,1987  | 0,2016  |
| 25               | 0,1997  | 0,2167  | 0,1974  | 0,2005  |
| 26               | 0,1980  | 0,2156  | 0,1961  | 0,1994  |
| 27               | 0,1964  | 0,2146  | 0,1948  | 0,1984  |
| 28               | 0,1948  | 0,2136  | 0,1936  | 0,1975  |
| 29               | 0,1934  | 0,2127  | 0,1924  | 0,1965  |
| 30               | 0,1919  | 0,2118  | 0,1913  | 0,1956  |

ANEXO 2.

Cuadro 2. Pérdida de peso de granos de quinua en el proceso de secado a velocidad 1(0.5m/seg) y 2(1m/seg); temperaturas 1(40°C) y 2(50°C) con recirculación en kg.

| Tiempo (minutos) | V <sub>1</sub> =0,5m/seg. - T <sub>1</sub> =40°C - con recirculación | V <sub>1</sub> =0,5m/seg. - T <sub>2</sub> =50°C - con recirculación | V <sub>2</sub> =1m/seg. - T <sub>1</sub> =40°C con recirculación | V <sub>2</sub> =1m/seg. - T <sub>2</sub> =50°C con recirculación |
|------------------|--|--|--|--|
| 1                | 0,2364   | 0,2460   | 0,2301   | 0,2342   |
| 2                | 0,2358   | 0,2469   | 0,2325   | 0,2341   |
| 3                | 0,2355   | 0,2474   | 0,2340   | 0,2343   |
| 4                | 0,2353   | 0,2477   | 0,2350   | 0,2343   |
| 5                | 0,2349   | 0,2476   | 0,2355   | 0,2341   |
| 6                | 0,2343   | 0,2471   | 0,2356   | 0,2336   |
| 7                | 0,2335   | 0,2464   | 0,2355   | 0,2328   |
| 8                | 0,2324   | 0,2455   | 0,2351   | 0,2318   |
| 9                | 0,2311   | 0,2445   | 0,2345   | 0,2306   |
| 10               | 0,2297   | 0,2433   | 0,2337   | 0,2293   |
| 11               | 0,2281   | 0,2420   | 0,2327   | 0,2279   |
| 12               | 0,2264   | 0,2406   | 0,2316   | 0,2264   |
| 13               | 0,2245   | 0,2393   | 0,2304   | 0,2249   |
| 14               | 0,2225   | 0,2378   | 0,2291   | 0,2233   |
| 15               | 0,2205   | 0,2363   | 0,2279   | 0,2217   |
| 16               | 0,2184   | 0,2348   | 0,2266   | 0,2200   |
| 17               | 0,2162   | 0,2333   | 0,2252   | 0,2184   |
| 18               | 0,2140   | 0,2318   | 0,2238   | 0,2168   |
| 19               | 0,2119   | 0,2303   | 0,2225   | 0,2153   |
| 20               | 0,2097   | 0,2288   | 0,2211   | 0,2137   |
| 21               | 0,2076   | 0,2274   | 0,2198   | 0,2122   |
| 22               | 0,2055   | 0,2260   | 0,2185   | 0,2108   |
| 23               | 0,2036   | 0,2246   | 0,2172   | 0,2093   |
| 24               | 0,2018   | 0,2233   | 0,2159   | 0,2080   |
| 25               | 0,2001   | 0,2221   | 0,2147   | 0,2066   |
| 26               | 0,1985   | 0,2209   | 0,2134   | 0,2054   |
| 27               | 0,1970   | 0,2198   | 0,2123   | 0,2041   |
| 28               | 0,1956   | 0,2187   | 0,2112   | 0,2029   |
| 29               | 0,1942   | 0,2177   | 0,2102   | 0,2018   |
| 30               | 0,1929   | 0,2167   | 0,2093   | 0,2006   |

ANEXO 3.

Cuadro 3. Cuadro valores de pérdida de peso para ANVA y DUNCAN en el periodo de estabilización A- B (quinua).

| Velocidad      | Temp. | Recir. | Rep. | Punto B    | Velocidad | Temp. | Recir. | Rep. | Punto B    |
|----------------|-------|--------|------|------------|-----------|-------|--------|------|------------|
| V <sub>1</sub> | 40    | s      | 1    | 0,2329905  | 1         | 1     | 1      | 1    | 0,23299053 |
| V <sub>1</sub> | 40    | s      | 2    | 0,20566570 | 1         | 1     | 1      | 2    | 0,2056657  |
| V <sub>1</sub> | 40    | s      | 3    | 0,21932811 | 1         | 1     | 1      | 3    | 0,21932811 |
| V <sub>1</sub> | 40    | c      | 1    | 0,23498696 | 1         | 1     | 2      | 1    | 0,23498696 |
| V <sub>1</sub> | 40    | c      | 2    | 0,22811755 | 1         | 1     | 2      | 2    | 0,22811755 |
| V <sub>1</sub> | 40    | c      | 3    | 0,23155226 | 1         | 1     | 2      | 3    | 0,23155226 |
| V <sub>1</sub> | 50    | s      | 1    | 0,22680809 | 1         | 2     | 1      | 1    | 0,22680809 |
| V <sub>1</sub> | 50    | s      | 2    | 0,22505089 | 1         | 2     | 1      | 2    | 0,22505089 |
| V <sub>1</sub> | 50    | s      | 3    | 0,22592949 | 1         | 2     | 1      | 3    | 0,22592949 |
| V <sub>1</sub> | 50    | c      | 1    | 0,24415459 | 1         | 2     | 2      | 1    | 0,24415459 |
| V <sub>1</sub> | 50    | c      | 2    | 0,21711014 | 1         | 2     | 2      | 2    | 0,21711014 |
| V <sub>1</sub> | 50    | c      | 3    | 0,23063237 | 1         | 2     | 2      | 3    | 0,23063237 |
| V <sub>2</sub> | 40    | s      | 1    | 0,23729862 | 2         | 1     | 1      | 1    | 0,23729862 |
| V <sub>2</sub> | 40    | s      | 2    | 0,28262399 | 2         | 1     | 1      | 2    | 0,28262399 |
| V <sub>2</sub> | 40    | s      | 3    | 0,25996131 | 2         | 1     | 1      | 3    | 0,25996131 |
| V <sub>2</sub> | 40    | c      | 1    | 0,28851837 | 2         | 1     | 2      | 1    | 0,28851837 |
| V <sub>2</sub> | 40    | c      | 2    | 0,22040864 | 2         | 1     | 2      | 2    | 0,22040864 |
| V <sub>2</sub> | 40    | c      | 3    | 0,25446350 | 2         | 1     | 2      | 3    | 0,2544635  |
| V <sub>2</sub> | 50    | s      | 1    | 0,23196639 | 2         | 2     | 1      | 1    | 0,23196639 |
| V <sub>2</sub> | 50    | s      | 2    | 0,24613621 | 2         | 2     | 1      | 2    | 0,24613621 |
| V <sub>2</sub> | 50    | s      | 3    | 0,23905130 | 2         | 2     | 1      | 3    | 0,2390513  |
| V <sub>2</sub> | 50    | c      | 1    | 0,24365116 | 2         | 2     | 2      | 1    | 0,24365116 |
| V <sub>2</sub> | 50    | c      | 2    | 0,24737599 | 2         | 2     | 2      | 2    | 0,24737599 |
| V <sub>2</sub> | 50    | c      | 3    | 0,24551358 | 2         | 2     | 2      | 3    | 0,24551358 |

Cuadro 4. Análisis de varianza del secado de la quinua en el periodo de estabilización A- B.

| F. de V.         | S.C.          | G.L. | C.M.          | F.C.  | Significancia |
|------------------|---------------|------|---------------|-------|---------------|
| A: Velocidad     | 0,00314285    | 1    | 0,00314285    | 11,92 | 0,0033        |
| B: Temperatura   | 0,000219224   | 1    | 0,000219224   | 0,83  | 0,3754        |
| C: Recirculación | 0,00012004    | 1    | 0,00012004    | 0,46  | 0,5095        |
| AB               | 0,000473697   | 1    | 0,000473697   | 1,80  | 0,1988        |
| AC               | 0,0000955511  | 1    | 0,0000955511  | 0,36  | 0,5556        |
| BC               | 0,00000738865 | 1    | 0,00000738865 | 0,03  | 0,8691        |
| ABC              | 0,000142321   | 1    | 0,000142321   | 0,54  | 0,4731        |
| RESIDUAL         | 0,00421815    | 16   | 0,000263635   |       |               |
| TOTAL            | 0,00841923    | 23   |               |       |               |

Cuadro 5. Valores de pérdida de peso para ANVA y DUNCAN en el periodo constante B-C (quinua).

| Velocidad      | Temp. | Recir. | Rep. | Punto C   | Velocidad | Temp. | Recir. | Rep. | Punto C    |
|----------------|-------|--------|------|-----------|-----------|-------|--------|------|------------|
| V <sub>1</sub> | 40    | s      | 1    | 0,2196295 | 1         | 1     | 1      | 1    | 0,21962949 |
| V <sub>1</sub> | 40    | s      | 2    | 0,1862067 | 1         | 1     | 1      | 2    | 0,18620672 |
| V <sub>1</sub> | 40    | s      | 3    | 0,2029181 | 1         | 1     | 1      | 3    | 0,2029181  |
| V <sub>1</sub> | 40    | c      | 1    | 0,2132062 | 1         | 1     | 2      | 1    | 0,21320617 |
| V <sub>1</sub> | 40    | c      | 2    | 0,2113631 | 1         | 1     | 2      | 2    | 0,2113631  |
| V <sub>1</sub> | 40    | c      | 3    | 0,2122846 | 1         | 1     | 2      | 3    | 0,21228463 |
| V <sub>1</sub> | 50    | s      | 1    | 0,207213  | 1         | 2     | 1      | 1    | 0,20721303 |
| V <sub>1</sub> | 50    | s      | 2    | 0,2058726 | 1         | 2     | 1      | 2    | 0,20587256 |
| V <sub>1</sub> | 50    | s      | 3    | 0,2065428 | 1         | 2     | 1      | 3    | 0,2065428  |
| V <sub>1</sub> | 50    | c      | 1    | 0,227213  | 1         | 2     | 2      | 1    | 0,22721303 |
| V <sub>1</sub> | 50    | c      | 2    | 0,2002706 | 1         | 2     | 2      | 2    | 0,20027064 |
| V <sub>1</sub> | 50    | c      | 3    | 0,2137418 | 1         | 2     | 2      | 3    | 0,21374183 |
| V <sub>2</sub> | 40    | s      | 1    | 0,2313793 | 2         | 1     | 1      | 1    | 0,23137928 |
| V <sub>2</sub> | 40    | s      | 2    | 0,262323  | 2         | 1     | 1      | 2    | 0,26232303 |
| V <sub>2</sub> | 40    | s      | 3    | 0,2468512 | 2         | 1     | 1      | 3    | 0,24685116 |
| V <sub>2</sub> | 40    | c      | 1    | 0,2817656 | 2         | 1     | 2      | 1    | 0,28176556 |
| V <sub>2</sub> | 40    | c      | 2    | 0,2129839 | 2         | 1     | 2      | 2    | 0,21298394 |
| V <sub>2</sub> | 40    | c      | 3    | 0,2473748 | 2         | 1     | 2      | 3    | 0,24737475 |
| V <sub>2</sub> | 50    | s      | 1    | 0,220706  | 2         | 2     | 1      | 1    | 0,22070604 |
| V <sub>2</sub> | 50    | s      | 2    | 0,2268048 | 2         | 2     | 1      | 2    | 0,2268048  |
| V <sub>2</sub> | 50    | s      | 3    | 0,2237554 | 2         | 2     | 1      | 3    | 0,22375542 |
| V <sub>2</sub> | 50    | c      | 1    | 0,2281724 | 2         | 2     | 2      | 1    | 0,22817243 |
| V <sub>2</sub> | 50    | c      | 2    | 0,2323905 | 2         | 2     | 2      | 2    | 0,23239053 |
| V <sub>2</sub> | 50    | c      | 3    | 0,2302815 | 2         | 2     | 2      | 3    | 0,23028148 |

Cuadro 6. Análisis de varianza del secado de la quinua en el punto C.

| F. de V.         | S.C.          | G.L. | C.M.          | F.C.  | Significancia |
|------------------|---------------|------|---------------|-------|---------------|
| A: velocidad     | 0,00476936    | 1    | 0,00476936    | 20,10 | 0,0004        |
| B: Temperatura   | 0,000462191   | 1    | 0,000462191   | 1,95  | 0,1818        |
| C: Recirculación | 0,000209129   | 1    | 0,000209129   | 0,88  | 0,3617        |
| AB               | 0,000768545   | 1    | 0,000768545   | 3,24  | 0,0908        |
| AC               | 0,0000339572  | 1    | 0,0000339572  | 0,14  | 0,7102        |
| BC               | 0,00000551513 | 1    | 0,00000551513 | 0,02  | 0,8807        |
| ABC              | 0,0000250306  | 1    | 0,0000250306  | 0,11  | 0,7495        |
| RESIDUAL         | 0,00379579    | 16   | 0,000237237   |       |               |
| TOTAL            | 0,0100695     | 23   |               |       |               |





Cuadro 7. Valores de pérdida de peso para ANVA y DUNCAN en el primer periodo decreciente C-D (quinua).

| Velocidad      | Temp. | Recir. | Rep. | Punto D   | Velocidad | Temp. | Recir. | Rep. | Punto D    |
|----------------|-------|--------|------|-----------|-----------|-------|--------|------|------------|
| V <sub>1</sub> | 40    | s      | 1    | 0,2086413 | 1         | 1     | 1      | 1    | 0,20864129 |
| V <sub>1</sub> | 40    | s      | 2    | 0,1738833 | 1         | 1     | 1      | 2    | 0,17388326 |
| V <sub>1</sub> | 40    | s      | 3    | 0,1912623 | 1         | 1     | 1      | 3    | 0,19126227 |
| V <sub>1</sub> | 40    | c      | 1    | 0,2092599 | 1         | 1     | 2      | 1    | 0,20925994 |
| V <sub>1</sub> | 40    | c      | 2    | 0,2092709 | 1         | 1     | 2      | 2    | 0,20927092 |
| V <sub>1</sub> | 40    | c      | 3    | 0,2092654 | 1         | 1     | 2      | 3    | 0,20926543 |
| V <sub>1</sub> | 50    | s      | 1    | 0,204534  | 1         | 2     | 1      | 1    | 0,20453402 |
| V <sub>1</sub> | 50    | s      | 2    | 0,2034742 | 1         | 2     | 1      | 2    | 0,20347421 |
| V <sub>1</sub> | 50    | s      | 3    | 0,2040041 | 1         | 2     | 1      | 3    | 0,20400411 |
| V <sub>1</sub> | 50    | c      | 1    | 0,2207834 | 1         | 2     | 2      | 1    | 0,2207834  |
| V <sub>1</sub> | 50    | c      | 2    | 0,1924802 | 1         | 2     | 2      | 2    | 0,19248024 |
| V <sub>1</sub> | 50    | c      | 3    | 0,2066318 | 1         | 2     | 2      | 3    | 0,20663182 |
| V <sub>2</sub> | 40    | s      | 1    | 0,2207908 | 2         | 1     | 1      | 1    | 0,22079081 |
| V <sub>2</sub> | 40    | s      | 2    | 0,2384586 | 2         | 1     | 1      | 2    | 0,23845856 |
| V <sub>2</sub> | 40    | s      | 3    | 0,2296247 | 2         | 1     | 1      | 3    | 0,22962469 |
| V <sub>2</sub> | 40    | c      | 1    | 0,2561661 | 2         | 1     | 2      | 1    | 0,25616611 |
| V <sub>2</sub> | 40    | c      | 2    | 0,1893746 | 2         | 1     | 2      | 2    | 0,18937462 |
| V <sub>2</sub> | 40    | c      | 3    | 0,2227704 | 2         | 1     | 2      | 3    | 0,22277036 |
| V <sub>2</sub> | 50    | s      | 1    | 0,2161645 | 2         | 2     | 1      | 1    | 0,21616448 |
| V <sub>2</sub> | 50    | s      | 2    | 0,2171519 | 2         | 2     | 1      | 2    | 0,21715185 |
| V <sub>2</sub> | 50    | s      | 3    | 0,2166582 | 2         | 2     | 1      | 3    | 0,21665816 |
| V <sub>2</sub> | 50    | c      | 1    | 0,2218619 | 2         | 2     | 2      | 1    | 0,22186186 |
| V <sub>2</sub> | 50    | c      | 2    | 0,2248128 | 2         | 2     | 2      | 2    | 0,22481275 |
| V <sub>2</sub> | 50    | c      | 3    | 0,2233373 | 2         | 2     | 2      | 3    | 0,22333731 |

Cuadro 8. Análisis de varianza del secado de quinua en el primer periodo decreciente C-D.

| F. de V.         | S.C.          | G.L. | C.M.          | F.C.  | Significancia |
|------------------|---------------|------|---------------|-------|---------------|
| A: velocidad     | 0,00247418    | 1    | 0,00247418    | 11,65 | 0,0036        |
| B: Temperatura   | 0,00000196886 | 1    | 0,00000196886 | 0,01  | 0,9245        |
| C: Recirculación | 0,000156913   | 1    | 0,000156913   | 0,74  | 0,4026        |
| AB               | 0,000189976   | 1    | 0,000189976   | 0,89  | 0,3582        |
| AC               | 0,000162334   | 1    | 0,000162334   | 0,76  | 0,3948        |
| BC               | 0,00000127234 | 1    | 0,00000127234 | 0,01  | 0,9393        |
| ABC              | 0,000313397   | 1    | 0,000313397   | 1,48  | 0,2420        |
| RESIDUAL         | 0,00339662    | 16   | 0,000212289   |       |               |
| ___TOTAL         | 0,00669666    | 23   |               |       |               |

Cuadro 9. Valores de pérdida de peso para ANVA y DUNCAN en el segundo periodo decreciente D-E (quinua)

| Velocidad      | Temp. | Recir. | Rep. | Punto E   | Velocidad | Temp. | Recir. | Rep. | Punto E    |
|----------------|-------|--------|------|-----------|-----------|-------|--------|------|------------|
| V <sub>1</sub> | 40    | s      | 1    | 0,2086413 | 1         | 1     | 1      | 1    | 0,20864129 |
| V <sub>1</sub> | 40    | s      | 2    | 0,1738833 | 1         | 1     | 1      | 2    | 0,17388326 |
| V <sub>1</sub> | 40    | s      | 3    | 0,1912623 | 1         | 1     | 1      | 3    | 0,19126227 |
| V <sub>1</sub> | 40    | c      | 1    | 0,2092599 | 1         | 1     | 2      | 1    | 0,20925994 |
| V <sub>1</sub> | 40    | c      | 2    | 0,2092709 | 1         | 1     | 2      | 2    | 0,20927092 |
| V <sub>1</sub> | 40    | c      | 3    | 0,2092654 | 1         | 1     | 2      | 3    | 0,20926543 |
| V <sub>1</sub> | 50    | s      | 1    | 0,1955019 | 1         | 2     | 1      | 1    | 0,19550192 |
| V <sub>1</sub> | 50    | s      | 2    | 0,1957348 | 1         | 2     | 1      | 2    | 0,19573484 |
| V <sub>1</sub> | 50    | s      | 3    | 0,1956184 | 1         | 2     | 1      | 3    | 0,19561838 |
| V <sub>1</sub> | 50    | c      | 1    | 0,2155019 | 1         | 2     | 2      | 1    | 0,21550192 |
| V <sub>1</sub> | 50    | c      | 2    | 0,18577   | 1         | 2     | 2      | 2    | 0,18576996 |
| V <sub>1</sub> | 50    | c      | 3    | 0,2006359 | 1         | 2     | 2      | 3    | 0,20063594 |
| V <sub>2</sub> | 40    | s      | 1    | 0,2115716 | 2         | 1     | 1      | 1    | 0,2115716  |
| V <sub>2</sub> | 40    | s      | 2    | 0,2212959 | 2         | 1     | 1      | 2    | 0,22129588 |
| V <sub>2</sub> | 40    | s      | 3    | 0,2164337 | 2         | 1     | 1      | 3    | 0,21643374 |
| V <sub>2</sub> | 40    | c      | 1    | 0,2474487 | 2         | 1     | 2      | 1    | 0,24744869 |
| V <sub>2</sub> | 40    | c      | 2    | 0,1803765 | 2         | 1     | 2      | 2    | 0,18037654 |
| V <sub>2</sub> | 40    | c      | 3    | 0,2139126 | 2         | 1     | 2      | 3    | 0,21391261 |
| V <sub>2</sub> | 50    | s      | 1    | 0,2129837 | 2         | 2     | 1      | 1    | 0,21298368 |
| V <sub>2</sub> | 50    | s      | 2    | 0,2105776 | 2         | 2     | 1      | 2    | 0,21057764 |
| V <sub>2</sub> | 50    | s      | 3    | 0,2117807 | 2         | 2     | 1      | 3    | 0,21178066 |
| V <sub>2</sub> | 50    | c      | 1    | 0,2165974 | 2         | 2     | 2      | 1    | 0,21659739 |
| V <sub>2</sub> | 50    | c      | 2    | 0,2167587 | 2         | 2     | 2      | 2    | 0,21675871 |
| V <sub>2</sub> | 50    | c      | 3    | 0,2166781 | 2         | 2     | 2      | 3    | 0,21667805 |

Cuadro 10. Análisis de varianza del secado de la quinua en el segundo periodo decreciente D-E.

| F. de V.         | S.C.          | G.L. | C.M.          | F.C. | Significancia |
|------------------|---------------|------|---------------|------|---------------|
| A: velocidad     | 0,00144257    | 1    | 0,00144257    | 6,90 | 0,0183        |
| B: Temperatura   | 0,0000142343  | 1    | 0,0000142343  | 0,07 | 0,7975        |
| C: Recirculación | 0,000241877   | 1    | 0,000241877   | 1,16 | 0,2981        |
| AB               | 0,00000213441 | 1    | 0,00000213441 | 0,01 | 0,9208        |
| AC               | 0,000159823   | 1    | 0,000159823   | 0,76 | 0,3949        |
| BC               | 0,0000116221  | 1    | 0,0000116221  | 0,06 | 0,8166        |
| ABC              | 0,000156123   | 1    | 0,000156123   | 0,75 | 0,4003        |
| RESIDUAL         | 0,00334561    | 16   | 0,0002091     |      |               |
| TOTAL            | 0,00537399    | 23   |               |      |               |

ANEXO 4.

Cuadro 11. Pérdida de peso de plátano en el proceso de secado a velocidad 1(0.5m/seg), 2(1m/seg) y temperaturas 1(40°C) y 2(50°C) sin recirculación en kg.

| Tiempo (minutos) | V <sub>1</sub> =0,5m/seg - T <sub>1</sub> =40°C - sin recirculación | V <sub>1</sub> =0,5m/seg - T <sub>2</sub> =50°C - sin recirculación | V <sub>2</sub> =1m/seg - T <sub>1</sub> =40°C - sin recirculación | V <sub>2</sub> =1m/seg - T <sub>2</sub> =50°C - sin recirculación |
|------------------|---|---|---|---|
| 1                | 0,1843  | 0,1788  | 0,1890  | 0,1915  |
| 2                | 0,1855  | 0,1781  | 0,1903  | 0,1915  |
| 3                | 0,1863  | 0,1777  | 0,1913  | 0,1915  |
| 4                | 0,1868  | 0,1775  | 0,1918  | 0,1913  |
| 5                | 0,1870  | 0,1773  | 0,1921  | 0,1910  |
| 6                | 0,1871  | 0,1773  | 0,1921  | 0,1907  |
| 7                | 0,1869  | 0,1771  | 0,1919  | 0,1903  |
| 8                | 0,1865  | 0,1768  | 0,1915  | 0,1899  |
| 9                | 0,1861  | 0,1764  | 0,1910  | 0,1895  |
| 10               | 0,1855  | 0,1759  | 0,1902  | 0,1891  |
| 11               | 0,1847  | 0,1752  | 0,1892  | 0,1887  |
| 12               | 0,1839  | 0,1743  | 0,1882  | 0,1882  |
| 13               | 0,1831  | 0,1733  | 0,1870  | 0,1877  |
| 14               | 0,1822  | 0,1721  | 0,1858  | 0,1873  |
| 15               | 0,1814  | 0,1709  | 0,1845  | 0,1867  |
| 16               | 0,1806  | 0,1694  | 0,1832  | 0,1863  |
| 17               | 0,1797  | 0,1680  | 0,1818  | 0,1858  |
| 18               | 0,1789  | 0,1664  | 0,1804  | 0,1853  |
| 19               | 0,1781  | 0,1650  | 0,1790  | 0,1849  |
| .                | .   | .   | .   | .   |
| .                | .   | .   | .   | .   |
| 130              | 0,0942  | 0,0816  | 0,0714  | 0,0948  |
| 131              | 0,0940  | 0,0807  | 0,0719  | 0,0944  |
| 132              | 0,0939  | 0,0798  | 0,0725  | 0,0939  |
| 133              | 0,0937  | 0,0789  | 0,0731  | 0,0935  |
| 134              | 0,0936  | 0,0781  | 0,0738  | 0,0931  |
| 135              | 0,0935  | 0,0773  | 0,0745  | 0,0926  |
| 136              | 0,0934  | 0,0766  | 0,0753  | 0,0922  |
| 137              | 0,0934  | 0,0759  | 0,0761  | 0,0917  |
| 138              | 0,0933  | 0,0753  | 0,0769  | 0,0912  |
| 139              | 0,0932  | 0,0748  | 0,0776  | 0,0906  |
| 140              | 0,0932  | 0,0744  | 0,0780  | 0,0901  |
| 141              | 0,0930  | 0,0740  | 0,0784  | 0,0895  |
| 142              | 0,0929  | 0,0738  | 0,0788  | 0,0890  |
| 143              | 0,0928  | 0,0736  | 0,0791  | 0,0884  |
| 144              | 0,0926  | 0,0736  | 0,0794  | 0,0878  |
| 145              | 0,0924  | 0,0735  | 0,0797  | 0,0872  |
| 146              | 0,0922  | 0,0736  | 0,0799  | 0,0866  |
| 147              | 0,0919  | 0,0738  | 0,0801  | 0,0859  |
| 148              | 0,0916  | 0,0740  | 0,0802  | 0,0853  |
| 149              | 0,0913  | 0,0743  | 0,0803  | 0,0847  |
| 150              | 0,0910  | 0,0747  | 0,0804  | 0,0841  |

ANEXO 5.

Cuadro 12. Pérdida de peso de plátano en el proceso de secado a velocidad 1(0.5m/seg), 2(1m/seg) y temperaturas 1(40°C) y 2(50°C) con recirculación en kg.

| Tiempo (minutos) | V <sub>1</sub> =0,5m/seg - T <sub>1</sub> =40°C - con recirculación | V <sub>1</sub> =0,5m/seg - T <sub>2</sub> =50°C - con recirculación | V <sub>2</sub> =1m/seg - T <sub>1</sub> =40°C - con recirculación | V <sub>2</sub> =1m/seg - T <sub>2</sub> =50°C - con recirculación |
|------------------|---|---|---|---|
| 1                | 0,1737  | 0,1856  | 0,1868  | 0,1927  |
| 2                | 0,1747  | 0,1858  | 0,1869  | 0,1929  |
| 3                | 0,1753  | 0,1861  | 0,1866  | 0,1930  |
| 4                | 0,1758  | 0,1860  | 0,1864  | 0,1932  |
| 5                | 0,1759  | 0,1856  | 0,1860  | 0,1933  |
| 6                | 0,1759  | 0,1849  | 0,1855  | 0,1934  |
| 7                | 0,1756  | 0,1840  | 0,1849  | 0,1933  |
| 8                | 0,1751  | 0,1829  | 0,1840  | 0,1931  |
| 9                | 0,1745  | 0,1818  | 0,1836  | 0,1929  |
| 10               | 0,1737  | 0,1805  | 0,1829  | 0,1926  |
| 11               | 0,1728  | 0,1793  | 0,1821  | 0,1921  |
| 12               | 0,1719  | 0,1780  | 0,1814  | 0,1916  |
| 13               | 0,1708  | 0,1766  | 0,1806  | 0,1910  |
| 14               | 0,1697  | 0,1753  | 0,1798  | 0,1904  |
| 15               | 0,1685  | 0,1739  | 0,1790  | 0,1897  |
| 16               | 0,1674  | 0,1726  | 0,1781  | 0,1889  |
| 17               | 0,1662  | 0,1713  | 0,1773  | 0,1882  |
| 18               | 0,1651  | 0,1700  | 0,1765  | 0,1875  |
| 19               | 0,1639  | 0,1688  | 0,1758  | 0,1867  |
| 20               | 0,1627  | 0,1676  | 0,1751  | 0,1860  |
| .                | .   | .   | .   | .   |
| 130              | 0,0988  | 0,0897  | 0,1104  | 0,1056  |
| 131              | 0,0990  | 0,0890  | 0,1100  | 0,1051  |
| 132              | 0,0992  | 0,0883  | 0,1096  | 0,1046  |
| 133              | 0,0994  | 0,0878  | 0,1093  | 0,1040  |
| 134              | 0,0995  | 0,0873  | 0,1090  | 0,1035  |
| 135              | 0,0996  | 0,0870  | 0,1087  | 0,1030  |
| 136              | 0,0997  | 0,0867  | 0,1084  | 0,1025  |
| 137              | 0,0997  | 0,0865  | 0,1082  | 0,1020  |
| 138              | 0,0997  | 0,0864  | 0,1080  | 0,1014  |
| 139              | 0,0997  | 0,0863  | 0,1078  | 0,1009  |
| 140              | 0,0996  | 0,0862  | 0,1076  | 0,1004  |
| 141              | 0,0995  | 0,0863  | 0,1075  | 0,0999  |
| 142              | 0,0993  | 0,0864  | 0,1074  | 0,0994  |
| 143              | 0,0991  | 0,0865  | 0,1072  | 0,0990  |
| 144              | 0,0989  | 0,0867  | 0,1071  | 0,0985  |
| 145              | 0,0986  | 0,0870  | 0,1070  | 0,0980  |
| 146              | 0,0982  | 0,0873  | 0,1068  | 0,0975  |
| 147              | 0,0979  | 0,0876  | 0,1068  | 0,0971  |
| 148              | 0,0975  | 0,0879  | 0,1066  | 0,0966  |
| 149              | 0,0971  | 0,0883  | 0,1065  | 0,0961  |
| 150              | 0,0966  | 0,0887  | 0,1063  | 0,0956  |

ANEXO 6.

Cuadro 13. Valores de pérdida de peso para ANVA y DUNCAN en el periodo de estabilización A-B (plátano).

| Velocidad      | Temp. | Recir. | Rep. | Punto B   | Velocidad | Temp. | Recir. | Rep. | Punto B    |
|----------------|-------|--------|------|-----------|-----------|-------|--------|------|------------|
| V <sub>1</sub> | 40    | s      | 1    | 0,1148879 | 1         | 1     | 1      | 1    | 0,11488794 |
| V <sub>1</sub> | 40    | s      | 2    | 0,1285554 | 1         | 1     | 1      | 2    | 0,12855543 |
| V <sub>1</sub> | 40    | s      | 3    | 0,1217217 | 1         | 1     | 1      | 3    | 0,12172168 |
| V <sub>1</sub> | 40    | c      | 1    | 0,1753516 | 1         | 1     | 2      | 1    | 0,17535158 |
| V <sub>1</sub> | 40    | c      | 2    | 0,1334045 | 1         | 1     | 2      | 2    | 0,13340454 |
| V <sub>1</sub> | 40    | c      | 3    | 0,1543781 | 1         | 1     | 2      | 3    | 0,15437806 |
| V <sub>1</sub> | 50    | s      | 1    | 0,1987409 | 1         | 2     | 1      | 1    | 0,19874088 |
| V <sub>1</sub> | 50    | s      | 2    | 0,1470487 | 1         | 2     | 1      | 2    | 0,1470487  |
| V <sub>1</sub> | 50    | s      | 3    | 0,1728948 | 1         | 2     | 1      | 3    | 0,17289479 |
| V <sub>1</sub> | 50    | c      | 1    | 0,1554731 | 1         | 2     | 2      | 1    | 0,15547312 |
| V <sub>1</sub> | 50    | c      | 2    | 0,1803014 | 1         | 2     | 2      | 2    | 0,18030137 |
| V <sub>1</sub> | 50    | c      | 3    | 0,1678872 | 1         | 2     | 2      | 3    | 0,16788725 |
| V <sub>2</sub> | 40    | s      | 1    | 0,1376665 | 2         | 1     | 1      | 1    | 0,13766654 |
| V <sub>2</sub> | 40    | s      | 2    | 0,1700962 | 2         | 1     | 1      | 2    | 0,17009616 |
| V <sub>2</sub> | 40    | s      | 3    | 0,1538813 | 2         | 1     | 1      | 3    | 0,15388135 |
| V <sub>2</sub> | 40    | c      | 1    | 0,1482543 | 2         | 1     | 2      | 1    | 0,14825434 |
| V <sub>2</sub> | 40    | c      | 2    | 0,1074844 | 2         | 1     | 2      | 2    | 0,10748437 |
| V <sub>2</sub> | 40    | c      | 3    | 0,1278694 | 2         | 1     | 2      | 3    | 0,12786936 |
| V <sub>2</sub> | 50    | s      | 1    | 0,1418986 | 2         | 2     | 1      | 1    | 0,14189864 |
| V <sub>2</sub> | 50    | s      | 2    | 0,1287115 | 2         | 2     | 1      | 2    | 0,12871146 |
| V <sub>2</sub> | 50    | s      | 3    | 0,1353051 | 2         | 2     | 1      | 3    | 0,13530505 |
| V <sub>2</sub> | 50    | c      | 1    | 0,1303829 | 2         | 2     | 2      | 1    | 0,13038286 |
| V <sub>2</sub> | 50    | c      | 2    | 0,1611305 | 2         | 2     | 2      | 2    | 0,16113046 |
| V <sub>2</sub> | 50    | c      | 3    | 0,1457567 | 2         | 2     | 2      | 3    | 0,14575666 |

Cuadro 14. Análisis de varianza del secado de plátano en el periodo de estabilización A-B.

| F. de V.         | S.C.        | G.L. | C.M.        | F.C. | Significancia |
|------------------|-------------|------|-------------|------|---------------|
| A: velocidad     | 0,00109631  | 1    | 0,00109631  | 3,87 | 0,0668        |
| B: Temperatura   | 0,00153568  | 1    | 0,00153568  | 5,42 | 0,0334        |
| C: Recirculación | 0,000054799 | 1    | 0,000054799 | 0,19 | 0,6660        |
| AB               | 0,00160253  | 1    | 0,00160253  | 5,66 | 0,0302        |
| AC               | 0,000700139 | 1    | 0,000700139 | 2,47 | 0,1356        |
| BC               | 5,40285E-7  | 1    | 5,40285E-7  | 0,00 | 0,9657        |
| ABC              | 0,00206058  | 1    | 0,00206058  | 7,27 | 0,0159        |
| RESIDUAL         | 0,00453403  | 16   | 0,000283377 |      |               |
| TOTAL            | 0,0115846   | 23   |             |      |               |



Cuadro 15. Valores de pérdida de peso para ANVA y DUNCAN en el periodo constante B-C (plátano).

| Velocidad      | Temp. | Recir. | Rep. | Punto C   | Velocidad | Temp. | Recir. | Rep. | Punto C    |
|----------------|-------|--------|------|-----------|-----------|-------|--------|------|------------|
| V <sub>1</sub> | 40    | s      | 1    | 0,1171587 | 1         | 1     | 1      | 1    | 0,11715872 |
| V <sub>1</sub> | 40    | s      | 2    | 0,1205694 | 1         | 1     | 1      | 2    | 0,12056942 |
| V <sub>1</sub> | 40    | s      | 3    | 0,1188641 | 1         | 1     | 1      | 3    | 0,11886407 |
| V <sub>1</sub> | 40    | c      | 1    | 0,1587077 | 1         | 1     | 2      | 1    | 0,15870769 |
| V <sub>1</sub> | 40    | c      | 2    | 0,1389412 | 1         | 1     | 2      | 2    | 0,13894116 |
| V <sub>1</sub> | 40    | c      | 3    | 0,1488244 | 1         | 1     | 2      | 3    | 0,14882442 |
| V <sub>1</sub> | 50    | s      | 1    | 0,1804811 | 1         | 2     | 1      | 1    | 0,18048107 |
| V <sub>1</sub> | 50    | s      | 2    | 0,1089302 | 1         | 2     | 1      | 2    | 0,10893019 |
| V <sub>1</sub> | 50    | s      | 3    | 0,1447056 | 1         | 2     | 1      | 3    | 0,14470563 |
| V <sub>1</sub> | 50    | c      | 1    | 0,1109505 | 1         | 2     | 2      | 1    | 0,11095049 |
| V <sub>1</sub> | 50    | c      | 2    | 0,1522781 | 1         | 2     | 2      | 2    | 0,15227806 |
| V <sub>1</sub> | 50    | c      | 3    | 0,1316143 | 1         | 2     | 2      | 3    | 0,13161427 |
| V <sub>2</sub> | 40    | s      | 1    | 0,1239653 | 2         | 1     | 1      | 1    | 0,1239653  |
| V <sub>2</sub> | 40    | s      | 2    | 0,1407461 | 2         | 1     | 1      | 2    | 0,1407461  |
| V <sub>2</sub> | 40    | s      | 3    | 0,1323557 | 2         | 1     | 1      | 3    | 0,1323557  |
| V <sub>2</sub> | 40    | c      | 1    | 0,1337389 | 2         | 1     | 2      | 1    | 0,13373893 |
| V <sub>2</sub> | 40    | c      | 2    | 0,1089132 | 2         | 1     | 2      | 2    | 0,10891318 |
| V <sub>2</sub> | 40    | c      | 3    | 0,1213261 | 2         | 1     | 2      | 3    | 0,12132606 |
| V <sub>2</sub> | 50    | s      | 1    | 0,1418391 | 2         | 2     | 1      | 1    | 0,14183911 |
| V <sub>2</sub> | 50    | s      | 2    | 0,0644577 | 2         | 2     | 1      | 2    | 0,0644577  |
| V <sub>2</sub> | 50    | s      | 3    | 0,1031484 | 2         | 2     | 1      | 3    | 0,1031484  |
| V <sub>2</sub> | 50    | c      | 1    | 0,1069521 | 2         | 2     | 2      | 1    | 0,10695214 |
| V <sub>2</sub> | 50    | c      | 2    | 0,1348166 | 2         | 2     | 2      | 2    | 0,13481661 |
| V <sub>2</sub> | 50    | c      | 3    | 0,1208844 | 2         | 2     | 2      | 3    | 0,12088437 |

Cuadro 16. Análisis de varianza del secado de plátano en el periodo constante B-C.

| F. de V.         | S.C.         | G.L. | C.M.         | F.C. | Significancia |
|------------------|--------------|------|--------------|------|---------------|
| A: Velocidad     | 0,00164808   | 1    | 0,00164808   | 3,54 | 0,0782        |
| B: Temperatura   | 0,000165652  | 1    | 0,000165652  | 0,36 | 0,5591        |
| C: Recirculación | 0,000208423  | 1    | 0,000208423  | 0,45 | 0,5129        |
| AB               | 0,000549521  | 1    | 0,000549521  | 1,18 | 0,2933        |
| AC               | 0,0000387299 | 1    | 0,0000387299 | 0,08 | 0,7767        |
| BC               | 0,0000765347 | 1    | 0,0000765347 | 0,16 | 0,6905        |
| ABC              | 0,00193415   | 1    | 0,00193415   | 4,16 | 0,0584        |
| RESIDUAL         | 0,00744603   | 16   | 0,000465377  |      |               |
| TOTAL            | 0,0120671    | 23   |              |      |               |

Cuadro 17. Valores de pérdida de peso para ANVA y DUNCAN en el primer periodo decreciente C-D (plátano).

| Velocidad      | Temp. | Recir. | Rep. | Punto D   | Velocidad | Temp. | Recir. | Rep. | Punto D    |
|----------------|-------|--------|------|-----------|-----------|-------|--------|------|------------|
| V <sub>1</sub> | 40    | s      | 1    | 0,0693702 | 1         | 1     | 1      | 1    | 0,06937025 |
| V <sub>1</sub> | 40    | s      | 2    | 0,0736399 | 1         | 1     | 1      | 2    | 0,07363993 |
| V <sub>1</sub> | 40    | s      | 3    | 0,0715051 | 1         | 1     | 1      | 3    | 0,07150509 |
| V <sub>1</sub> | 40    | c      | 1    | 0,1307779 | 1         | 1     | 2      | 1    | 0,13077792 |
| V <sub>1</sub> | 40    | c      | 2    | 0,1007036 | 1         | 1     | 2      | 2    | 0,10070358 |
| V <sub>1</sub> | 40    | c      | 3    | 0,1157408 | 1         | 1     | 2      | 3    | 0,11574075 |
| V <sub>1</sub> | 50    | s      | 1    | 0,1327947 | 1         | 2     | 1      | 1    | 0,13279466 |
| V <sub>1</sub> | 50    | s      | 2    | 0,0910616 | 1         | 2     | 1      | 2    | 0,0910616  |
| V <sub>1</sub> | 50    | s      | 3    | 0,1119281 | 1         | 2     | 1      | 3    | 0,11192813 |
| V <sub>1</sub> | 50    | c      | 1    | 0,0917211 | 1         | 2     | 2      | 1    | 0,09172114 |
| V <sub>1</sub> | 50    | c      | 2    | 0,1307779 | 1         | 2     | 2      | 2    | 0,13077792 |
| V <sub>1</sub> | 50    | c      | 3    | 0,1112495 | 1         | 2     | 2      | 3    | 0,11124953 |
| V <sub>2</sub> | 40    | s      | 1    | 0,0717033 | 2         | 1     | 1      | 1    | 0,07170331 |
| V <sub>2</sub> | 40    | s      | 2    | 0,1303617 | 2         | 1     | 1      | 2    | 0,13036174 |
| V <sub>2</sub> | 40    | s      | 3    | 0,1010325 | 2         | 1     | 1      | 3    | 0,10103252 |
| V <sub>2</sub> | 40    | c      | 1    | 0,100513  | 2         | 1     | 2      | 1    | 0,10051297 |
| V <sub>2</sub> | 40    | c      | 2    | 0,0910683 | 2         | 1     | 2      | 2    | 0,09106826 |
| V <sub>2</sub> | 40    | c      | 3    | 0,0957906 | 2         | 1     | 2      | 3    | 0,09579061 |
| V <sub>2</sub> | 50    | s      | 1    | 0,1412523 | 2         | 2     | 1      | 1    | 0,14125228 |
| V <sub>2</sub> | 50    | s      | 2    | 0,048188  | 2         | 2     | 1      | 2    | 0,04818802 |
| V <sub>2</sub> | 50    | s      | 3    | 0,0947201 | 2         | 2     | 1      | 3    | 0,09472015 |
| V <sub>2</sub> | 50    | c      | 1    | 0,1017387 | 2         | 2     | 2      | 1    | 0,10173869 |
| V <sub>2</sub> | 50    | c      | 2    | 0,1256229 | 2         | 2     | 2      | 2    | 0,12562292 |
| V <sub>2</sub> | 50    | c      | 3    | 0,1136808 | 2         | 2     | 2      | 3    | 0,11368081 |

Cuadro 18. Análisis de varianza del secado de plátano en el primer periodo decreciente C-D.

| F. de V.         | S.C.         | G.L. | C.M.         | F.C. | Significancia |
|------------------|--------------|------|--------------|------|---------------|
| A: Velocidad     | 0,0000101377 | 1    | 0,0000101377 | 0,02 | 0,8917        |
| B: Temperatura   | 0,000846437  | 1    | 0,000846437  | 1,60 | 0,2243        |
| C: Recirculación | 0,00123019   | 1    | 0,00123019   | 2,32 | 0,1470        |
| AB               | 0,000222419  | 1    | 0,000222419  | 0,42 | 0,5262        |
| AC               | 0,000333872  | 1    | 0,000333872  | 0,63 | 0,4389        |
| BC               | 0,000160865  | 1    | 0,000160865  | 0,30 | 0,5892        |
| ABC              | 0,00179143   | 1    | 0,00179143   | 3,38 | 0,0846        |
| RESIDUAL         | 0,0084756    | 16   | 0,000529725  |      |               |
| TOTAL            | 0,013071     | 23   |              |      |               |

Cuadro 19. Valores de pérdida de peso para ANVA y DUNCAN en el segundo periodo decreciente D-E (plátano).

| Velocidad      | Temp. | Recir. | Rep. | Punto E   | Velocidad | Temp. | Recir. | Rep. | Punto E    |
|----------------|-------|--------|------|-----------|-----------|-------|--------|------|------------|
| V <sub>1</sub> | 40    | s      | 1    | 0,0748974 | 1         | 1     | 1      | 1    | 0,07489742 |
| V <sub>1</sub> | 40    | s      | 2    | 0,0859124 | 1         | 1     | 1      | 2    | 0,08591236 |
| V <sub>1</sub> | 40    | s      | 3    | 0,0804049 | 1         | 1     | 1      | 3    | 0,08040489 |
| V <sub>1</sub> | 40    | c      | 1    | 0,1134026 | 1         | 1     | 2      | 1    | 0,11340262 |
| V <sub>1</sub> | 40    | c      | 2    | 0,0991812 | 1         | 1     | 2      | 2    | 0,09918122 |
| V <sub>1</sub> | 40    | c      | 3    | 0,1062919 | 1         | 1     | 2      | 3    | 0,10629192 |
| V <sub>1</sub> | 50    | s      | 1    | 0,0930177 | 1         | 2     | 1      | 1    | 0,09301771 |
| V <sub>1</sub> | 50    | s      | 2    | 0,0751916 | 1         | 2     | 1      | 2    | 0,07519165 |
| V <sub>1</sub> | 50    | s      | 3    | 0,0841047 | 1         | 2     | 1      | 3    | 0,08410468 |
| V <sub>1</sub> | 50    | c      | 1    | 0,0778073 | 1         | 2     | 2      | 1    | 0,07780729 |
| V <sub>1</sub> | 50    | c      | 2    | 0,1134026 | 1         | 2     | 2      | 2    | 0,11340262 |
| V <sub>1</sub> | 50    | c      | 3    | 0,095605  | 1         | 2     | 2      | 3    | 0,09560495 |
| V <sub>2</sub> | 40    | s      | 1    | 0,0847157 | 2         | 1     | 1      | 1    | 0,08471565 |
| V <sub>2</sub> | 40    | s      | 2    | 0,0972611 | 2         | 1     | 1      | 2    | 0,09726106 |
| V <sub>2</sub> | 40    | s      | 3    | 0,0909884 | 2         | 1     | 1      | 3    | 0,09098835 |
| V <sub>2</sub> | 40    | c      | 1    | 0,1021812 | 2         | 1     | 2      | 1    | 0,10218122 |
| V <sub>2</sub> | 40    | c      | 2    | 0,0910683 | 2         | 1     | 2      | 2    | 0,09106826 |
| V <sub>2</sub> | 40    | c      | 3    | 0,0966247 | 2         | 1     | 2      | 3    | 0,09662474 |
| V <sub>2</sub> | 50    | s      | 1    | 0,1403933 | 2         | 2     | 1      | 1    | 0,14039329 |
| V <sub>2</sub> | 50    | s      | 2    | 0,0089809 | 2         | 2     | 1      | 2    | 0,00898089 |
| V <sub>2</sub> | 50    | s      | 3    | 0,0746871 | 2         | 2     | 1      | 3    | 0,07468709 |
| V <sub>2</sub> | 50    | c      | 1    | 0,0726523 | 2         | 2     | 2      | 1    | 0,07265228 |
| V <sub>2</sub> | 50    | c      | 2    | 0,1047266 | 2         | 2     | 2      | 2    | 0,10472663 |
| V <sub>2</sub> | 50    | c      | 3    | 0,0886895 | 2         | 2     | 2      | 3    | 0,08868945 |

Cuadro 20. Análisis de varianza del secado de plátano en el segundo periodo decreciente D-E.

| F. de V.         | S.C.         | G.L. | C.M.         | F.C. | Significancia |
|------------------|--------------|------|--------------|------|---------------|
| A: velocidad     | 0,0000891292 | 1    | 0,0000891292 | 0,14 | 0,7140        |
| B: Temperatura   | 0,000365595  | 1    | 0,000365595  | 0,57 | 0,4608        |
| C: Recirculación | 0,00121949   | 1    | 0,00121949   | 1,90 | 0,1865        |
| AB               | 0,000111578  | 1    | 0,000111578  | 0,17 | 0,6819        |
| AC               | 0,000118129  | 1    | 0,000118129  | 0,18 | 0,6733        |
| BC               | 0,0000135937 | 1    | 0,0000135937 | 0,02 | 0,8860        |
| ABC              | 0,000194133  | 1    | 0,000194133  | 0,30 | 0,5895        |
| RESIDUAL         | 0,0102436    | 16   | 0,000640226  |      |               |
| TOTAL            | 0,0123553    | 23   |              |      |               |





ANEXO 7. Resultados de velocidad de secado de granos de quinua sin recirculación.

Cuadro 21.  $V_1 = 0.5\text{m/seg}$  y  $T_1 = 40^\circ\text{C}$  sin recirculación.

|                                       |                       |
|---------------------------------------|-----------------------|
| Area bandeja = 0,11024 m <sup>2</sup> | Peso S.S. = 0,1284 Kg |
|---------------------------------------|-----------------------|

| Nº Datos | Tiempo (min) | Tiempo (h) | Peso en Kg | Humedad total en Kg | X kg H <sub>2</sub> O/kg s.s. | Valor Promedio | W Kg H <sub>2</sub> O/h.m <sup>2</sup> | W Predecido Kg H <sub>2</sub> O/h.m <sup>2</sup> |
|----------|--------------|------------|------------|---------------------|-------------------------------|----------------|--|--|
| 25       | 1            | 0,0167     | 0,2639     | 0,1355              | 1,0553                        |                |  |  |
| 50       | 2            | 0,0333     | 0,2649     | 0,1365              | 1,0632                        | 1,0592         | -0,5578                                |  |
| 75       | 3            | 0,05       | 0,2653     | 0,1369              | 1,0662                        | 1,0647         | -0,206                                 |  |
| 100      | 4            | 0,0667     | 0,2651     | 0,1367              | 1,065                         | 1,0656         | 0,0856                                 |  |
| 125      | 5            | 0,0833     | 0,2644     | 0,136               | 1,0591                        | 1,062          | 0,4073                                 |  |
| 150      | 6            | 0,1        | 0,2631     | 0,1347              | 1,0494                        | 1,0543         | 0,6781                                 |  |
| 175      | 7            | 0,1167     | 0,2617     | 0,1333              | 1,0378                        | 1,0436         | 0,8124                                 |  |
| 200      | 8            | 0,1333     | 0,26       | 0,1316              | 1,0246                        | 1,0312         | 0,9211                                 |  |
| 225      | 9            | 0,15       | 0,2581     | 0,1297              | 1,0098                        | 1,0172         | 1,0369                                 |  |
| 250      | 10           | 0,1667     | 0,256      | 0,1276              | 0,9935                        | 1,0016         | 1,1387                                 |  |
| 275      | 11           | 0,1833     | 0,2537     | 0,1253              | 0,976                         | 0,9847         | 1,222                                  | 1,2151   |
| 300      | 12           | 0,2        | 0,2515     | 0,1231              | 0,9584                        | 0,9672         | 1,2313                                 | 1,2151   |
| 325      | 13           | 0,2167     | 0,2492     | 0,1208              | 0,9405                        | 0,9495         | 1,2475                                 | 1,2151   |
| 350      | 14           | 0,2333     | 0,2469     | 0,1185              | 0,9225                        | 0,9315         | 1,2591                                 | 1,2151   |
| 375      | 15           | 0,25       | 0,2446     | 0,1162              | 0,9047                        | 0,9136         | 1,2429                                 | 1,2151   |
| 400      | 16           | 0,2667     | 0,2423     | 0,1139              | 0,8872                        | 0,896          | 1,2267                                 | 1,2151   |
| 425      | 17           | 0,2833     | 0,2401     | 0,1117              | 0,8698                        | 0,8785         | 1,2151                                 | 1,2151   |
| 450      | 18           | 0,3        | 0,2379     | 0,1095              | 0,8524                        | 0,8611         | 1,2128                                 | 1,2052   |
| 475      | 19           | 0,3167     | 0,2357     | 0,1073              | 0,8357                        | 0,8441         | 1,1665                                 | 1,1725   |
| 500      | 20           | 0,3333     | 0,2336     | 0,1052              | 0,8193                        | 0,8275         | 1,148                                  | 1,1404   |
| 525      | 21           | 0,35       | 0,2316     | 0,1032              | 0,8036                        | 0,8115         | 1,097                                  | 1,1082   |
| 550      | 22           | 0,3667     | 0,2296     | 0,1012              | 0,7884                        | 0,796          | 1,067                                  | 1,0652   |
| 575      | 23           | 0,3833     | 0,2278     | 0,0994              | 0,7738                        | 0,7811         | 1,0184                                 | 1,0241   |
| 625      | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 650      | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 675      | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 950      | 38           | 0,6333     | 0,2069     | 0,0785              | 0,6111                        | 0,6152         | 0,567                                  | 0,5654   |
| 975      | 39           | 0,65       | 0,2059     | 0,0775              | 0,6034                        | 0,6073         | 0,5416                                 | 0,5435   |
| 1000     | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 1025     | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 1050     | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 1400     | 56           | 0,9333     | 0,1778     | 0,0494              | 0,385                         | 0,3878         | 0,3911                                 |  |
| 1425     | 57           | 0,95       | 0,1773     | 0,0489              | 0,3808                        | 0,3829         | 0,2986                                 |  |
| 1450     | 58           | 0,9667     | 0,1768     | 0,0484              | 0,3773                        | 0,379          | 0,2421                                 |  |

Cuadro 22.  $V_1 = 0.5\text{m/seg}$  y  $T_2 = 50^\circ\text{C}$  sin recirculación.

| Area bandeja = 0,11024 m <sup>2</sup> |              | Peso S.S. =0,1284 Kg |            |                     |                               |                |  |                                      |
|---------------------------------------|--------------|----------------------|------------|---------------------|-------------------------------|----------------|--|--------------------------------------|
| N° Datos                              | Tiempo (min) | Tiempo (h)           | Peso en Kg | Humedad total en Kg | X kg H <sub>2</sub> O/kg s.s. | Valor Promedio | W Kg H <sub>2</sub> O/h.m <sup>2</sup> | W Predecido                          |
|                                       |              |                      |            |                     |                               |                |  | Kg H <sub>2</sub> O/h.m <sup>2</sup> |
| 25                                    | 1            | 0,0167               | 0,2421     | 0,1137              | 0,8857                        |                |  |                                      |
| 50                                    | 2            | 0,0333               | 0,2428     | 0,1144              | 0,8907                        | 0,8882         | -0,3449                                |                                      |
| 75                                    | 3            | 0,0500               | 0,2428     | 0,1144              | 0,8907                        | 0,8907         | -0,0023                                |                                      |
| 100                                   | 4            | 0,0667               | 0,2425     | 0,1141              | 0,8883                        | 0,8895         | 0,1666                                 |                                      |
| 125                                   | 5            | 0,0833               | 0,2420     | 0,1136              | 0,8845                        | 0,8864         | 0,2662                                 |                                      |
| 150                                   | 6            | 0,1000               | 0,2412     | 0,1128              | 0,8787                        | 0,8816         | 0,4050                                 |                                      |
| 175                                   | 7            | 0,1167               | 0,2402     | 0,1118              | 0,8708                        | 0,8748         | 0,5532                                 |                                      |
| 200                                   | 8            | 0,1333               | 0,2391     | 0,1107              | 0,8618                        | 0,8663         | 0,6318                                 |                                      |
| 225                                   | 9            | 0,1500               | 0,2378     | 0,1094              | 0,8519                        | 0,8568         | 0,6897                                 |                                      |
| 250                                   | 10           | 0,1667               | 0,2364     | 0,1080              | 0,8415                        | 0,8467         | 0,7290                                 |                                      |
| 275                                   | 11           | 0,1833               | 0,2350     | 0,1066              | 0,8305                        | 0,8360         | 0,7661                                 |                                      |
| 300                                   | 12           | 0,2000               | 0,2336     | 0,1052              | 0,8194                        | 0,8250         | 0,7730                                 |                                      |
| 325                                   | 13           | 0,2167               | 0,2322     | 0,1038              | 0,8081                        | 0,8138         | 0,7915                                 | 0,7846                               |
| 350                                   | 14           | 0,2333               | 0,2307     | 0,1023              | 0,7968                        | 0,8024         | 0,7939                                 | 0,7846                               |
| 375                                   | 15           | 0,2500               | 0,2292     | 0,1008              | 0,7854                        | 0,7911         | 0,7915                                 | 0,7846                               |
| 400                                   | 16           | 0,2667               | 0,2278     | 0,0994              | 0,7742                        | 0,7798         | 0,7846                                 | 0,7846                               |
| 425                                   | 17           | 0,2833               | 0,2264     | 0,0980              | 0,7634                        | 0,7688         | 0,7568                                 | 0,7545                               |
| 450                                   | 18           | 0,3000               | 0,2251     | 0,0967              | 0,7529                        | 0,7581         | 0,7314                                 | 0,7349                               |
| 475                                   | 19           | 0,3167               | 0,2238     | 0,0954              | 0,7426                        | 0,7478         | 0,7175                                 | 0,7156                               |
| 500                                   | 20           | 0,3333               | 0,2225     | 0,0941              | 0,7327                        | 0,7377         | 0,6943                                 | 0,6969                               |
| 525                                   | 21           | 0,3500               | 0,2212     | 0,0928              | 0,7230                        | 0,7278         | 0,6804                                 | 0,6786                               |
| 550                                   | 22           | 0,3667               | 0,2200     | 0,0916              | 0,7136                        | 0,7183         | 0,6527                                 | 0,6616                               |
| 575                                   | 23           | 0,3833               | 0,2189     | 0,0905              | 0,7046                        | 0,7091         | 0,6342                                 | 0,6371                               |
| 825                                   | 33           | 0,5500               | 0,2093     | 0,0809              | 0,6298                        | 0,6329         | 0,4374                                 | 0,4354                               |
| 850                                   | 34           | 0,5667               | 0,2085     | 0,0801              | 0,6237                        | 0,6267         | 0,4235                                 | 0,4190                               |
| 875                                   | 35           | 0,5833               | 0,2077     | 0,0793              | 0,6179                        | 0,6208         | 0,4097                                 | 0,4032                               |
| 900                                   | 36           | 0,6000               | 0,2070     | 0,0786              | 0,6123                        | 0,6151         | 0,3888                                 | 0,3882                               |
| 925                                   | 37           | 0,6167               | 0,2064     | 0,0780              | 0,6071                        | 0,6097         | 0,3611                                 | 0,3743                               |
| 950                                   | 38           | 0,6333               | 0,2057     | 0,0773              | 0,6020                        | 0,6046         | 0,3587                                 | 0,3604                               |
| 975                                   | 39           | 0,6500               | 0,2051     | 0,0767              | 0,5971                        | 0,5995         | 0,3449                                 | 0,3471                               |
| 1000                                  | 40           | 0,6667               | 0,2045     | 0,0761              | 0,5924                        | 0,5947         | 0,3263                                 | 0,3345                               |
| 1025                                  | 41           | 0,6833               | 0,2034     | 0,0750              | 0,5842                        | 0,5883         | 0,5717                                 |                                      |
| 1050                                  | 42           | 0,7000               | 0,2019     | 0,0735              | 0,5723                        | 0,5782         | 0,8332                                 |                                      |
| 1075                                  | .            | .                    | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .                                    |
| 1100                                  | .            | .                    | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .                                    |
| 1125                                  | .            | .                    | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .                                    |
| 1425                                  | 57           | 0,9500               | 0,1859     | 0,0575              | 0,4475                        | 0,4496         | 0,2962                                 |                                      |
| 1450                                  | 58           | 0,9667               | 0,1854     | 0,0570              | 0,4438                        | 0,4456         | 0,2638                                 |                                      |
| 1475                                  | 59           | 0,9833               | 0,1851     | 0,0567              | 0,4414                        | 0,4426         | 0,1671                                 |                                      |



Cuadro 23.  $V_2 = 1\text{m/seg}$  y  $T_1 = 40^\circ\text{C}$  sin recirculación.

Area bandeja = 0,11024 m<sup>2</sup>      Peso S.S. =0,1284 Kg

| Nº Datos | Tiempo (min) | Tiempo (h) | Peso en Kg | Humedad total en Kg | X kg H <sub>2</sub> O/kg s.s. | Valor Promedio | W Kg H <sub>2</sub> O/h.m <sup>2</sup> | W Predecido Kg H <sub>2</sub> O/h.m <sup>2</sup> |
|----------|--------------|------------|------------|---------------------|-------------------------------|----------------|--|--|
| 25       | 1            | 0,0167     | 0,2218     | 0,0934              | 0,7276                        |                |  |  |
| 50       | 2            | 0,0333     | 0,2233     | 0,0949              | 0,7388                        | 0,7332         | -0,7800                                |  |
| 75       | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      |  |
| 100      | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      |  |
| 125      | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      |  |
| 325      | 13           | 0,2167     | 0,2150     | 0,0866              | 0,6746                        | 0,6804         | 0,8101                                 |  |
| 350      | 14           | 0,2333     | 0,2135     | 0,0851              | 0,6629                        | 0,6688         | 0,8239                                 | 0,8425   |
| 375      | 15           | 0,2500     | 0,2120     | 0,0836              | 0,6508                        | 0,6568         | 0,8401                                 | 0,8425   |
| 400      | 16           | 0,2667     | 0,2104     | 0,0820              | 0,6389                        | 0,6449         | 0,8355                                 | 0,8425   |
| 425      | 17           | 0,2833     | 0,2089     | 0,0805              | 0,6269                        | 0,6329         | 0,8355                                 | 0,8425   |
| 450      | 18           | 0,3000     | 0,2073     | 0,0789              | 0,6149                        | 0,6209         | 0,8425                                 | 0,8425   |
| 475      | 19           | 0,3167     | 0,2058     | 0,0774              | 0,6030                        | 0,6090         | 0,8263                                 | 0,8212   |
| 500      | 20           | 0,3333     | 0,2044     | 0,0760              | 0,5916                        | 0,5973         | 0,8008                                 | 0,8051   |
| 525      | 21           | 0,3500     | 0,2029     | 0,0745              | 0,5804                        | 0,5860         | 0,7846                                 | 0,7893   |
| 550      | 22           | 0,3667     | 0,2015     | 0,0731              | 0,5692                        | 0,5748         | 0,7800                                 | 0,7736   |
| 575      | 23           | 0,3833     | 0,2001     | 0,0717              | 0,5584                        | 0,5638         | 0,7522                                 | 0,7585   |
| 600      | 24           | 0,4000     | 0,1987     | 0,0703              | 0,5477                        | 0,5531         | 0,7476                                 | 0,7434   |
| 625      | 25           | 0,4167     | 0,1974     | 0,0690              | 0,5373                        | 0,5425         | 0,7290                                 | 0,7340   |
| 650      | 26           | 0,4333     | 0,1961     | 0,0677              | 0,5271                        | 0,5322         | 0,7105                                 | 0,7095   |
| 675      | 27           | 0,4500     | 0,1948     | 0,0664              | 0,5173                        | 0,5222         | 0,6851                                 | 0,6858   |
| 700      | 28           | 0,4667     | 0,1936     | 0,0652              | 0,5078                        | 0,5126         | 0,6666                                 | 0,6627   |
| 725      | 29           | 0,4833     | 0,1924     | 0,0640              | 0,4985                        | 0,5032         | 0,6480                                 | 0,6403   |
| 750      | 30           | 0,5000     | 0,1913     | 0,0629              | 0,4896                        | 0,4941         | 0,6249                                 | 0,6187   |
| 775      | 31           | 0,5167     | 0,1902     | 0,0618              | 0,4811                        | 0,4853         | 0,5948                                 | 0,5982   |
| 800      | 32           | 0,5333     | 0,1891     | 0,0607              | 0,4729                        | 0,4770         | 0,5717                                 | 0,5784   |
| 825      | 33           | 0,5500     | 0,1881     | 0,0597              | 0,4649                        | 0,4689         | 0,5578                                 | 0,5591   |
| 850      | 34           | 0,5667     | 0,1871     | 0,0587              | 0,4573                        | 0,4611         | 0,5323                                 | 0,5407   |
| 875      | 35           | 0,5833     | 0,1862     | 0,0578              | 0,4499                        | 0,4536         | 0,5161                                 | 0,5229   |
| 900      | 36           | 0,6000     | 0,1852     | 0,0568              | 0,4426                        | 0,4462         | 0,5138                                 | 0,5051   |
| 925      | 37           | 0,6167     | 0,1843     | 0,0559              | 0,4356                        | 0,4391         | 0,4883                                 | 0,4883   |
| 950      | 38           | 0,6333     | 0,1834     | 0,0550              | 0,4287                        | 0,4321         | 0,4791                                 | 0,4717   |
| 975      | 39           | 0,6500     | 0,1826     | 0,0542              | 0,4222                        | 0,4255         | 0,4536                                 | 0,4560   |
| 1000     | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      |  |
| 1025     | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      |  |
| 1425     | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      |  |
| 1450     | 58           | 0,9667     | 0,1552     | 0,0268              | 0,2089                        | 0,2123         | 0,4768                                 |  |

Cuadro 24.  $V_2 = 1\text{m/seg}$  y  $T_2 = 50^\circ\text{C}$  sin recirculación.

Area bandeja = 0,11024 m<sup>2</sup>      Peso S.S. = 0,1284 Kg

| Nº Datos | Tiempo (min) | Tiempo (h) | Peso en Kg | Humedad total en Kg | X kg H <sub>2</sub> O/kg s.s. | Valor Promedio | W Kg H <sub>2</sub> O/h.m <sup>2</sup> | W Predecido Kg H <sub>2</sub> O/h.m <sup>2</sup> |
|----------|--------------|------------|------------|---------------------|-------------------------------|----------------|--|--|
| 25       | 1            | 0,0167     | 0,2301     | 0,1017              | 0,7924                        |                |  |  |
| 50       | 2            | 0,0333     | 0,2296     | 0,1012              | 0,7879                        | 0,7901         | 0,3171                                 |  |
| 75       | 3            | 0,0500     | 0,2291     | 0,1007              | 0,7844                        | 0,7861         | 0,2430                                 |  |
| 100      | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 125      | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 150      | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 275      | 11           | 0,1833     | 0,2200     | 0,0916              | 0,7136                        | 0,7198         | 0,8656                                 | 0,8679   |
| 300      | 12           | 0,2000     | 0,2184     | 0,0900              | 0,7011                        | 0,7073         | 0,8749                                 | 0,8679   |
| 325      | 13           | 0,2167     | 0,2168     | 0,0884              | 0,6885                        | 0,6948         | 0,8749                                 | 0,8679   |
| 350      | 14           | 0,2333     | 0,2152     | 0,0868              | 0,6761                        | 0,6823         | 0,8679                                 | 0,8679   |
| 375      | 15           | 0,2500     | 0,2137     | 0,0853              | 0,6641                        | 0,6701         | 0,8401                                 | 0,8470   |
| 400      | 16           | 0,2667     | 0,2122     | 0,0838              | 0,6523                        | 0,6582         | 0,8263                                 | 0,8214   |
| 425      | 17           | 0,2833     | 0,2107     | 0,0823              | 0,6409                        | 0,6466         | 0,7939                                 | 0,7967   |
| 450      | 18           | 0,3000     | 0,2093     | 0,0809              | 0,6298                        | 0,6353         | 0,7800                                 | 0,7725   |
| 475      | 19           | 0,3167     | 0,2079     | 0,0795              | 0,6190                        | 0,6244         | 0,7522                                 | 0,7492   |
| 500      | 20           | 0,3333     | 0,2065     | 0,0781              | 0,6086                        | 0,6138         | 0,7267                                 | 0,7266   |
| 525      | 21           | 0,3500     | 0,2053     | 0,0769              | 0,5986                        | 0,6036         | 0,7013                                 | 0,7049   |
| 550      | 22           | 0,3667     | 0,2040     | 0,0756              | 0,5888                        | 0,5937         | 0,6804                                 | 0,6837   |
| 575      | 23           | 0,3833     | 0,2028     | 0,0744              | 0,5793                        | 0,5841         | 0,6642                                 | 0,6631   |
| 600      | 24           | 0,4000     | 0,2016     | 0,0732              | 0,5703                        | 0,5748         | 0,6318                                 | 0,6301   |
| 625      | 25           | 0,4167     | 0,2005     | 0,0721              | 0,5616                        | 0,5659         | 0,6087                                 | 0,6041   |
| 650      | 26           | 0,4333     | 0,1994     | 0,0710              | 0,5533                        | 0,5575         | 0,5740                                 | 0,5795   |
| 675      | 27           | 0,4500     | 0,1984     | 0,0700              | 0,5455                        | 0,5494         | 0,5485                                 | 0,5561   |
| 700      | 28           | 0,4667     | 0,1975     | 0,0691              | 0,5379                        | 0,5417         | 0,5300                                 | 0,5334   |
| 725      | 29           | 0,4833     | 0,1965     | 0,0681              | 0,5307                        | 0,5343         | 0,5069                                 | 0,5117   |
| 750      | 30           | 0,5000     | 0,1956     | 0,0672              | 0,5235                        | 0,5271         | 0,4999                                 | 0,4904   |
| 775      | 31           | 0,5167     | 0,1948     | 0,0664              | 0,5168                        | 0,5201         | 0,4698                                 | 0,4703   |
| 800      | 32           | 0,5333     | 0,1939     | 0,0655              | 0,5103                        | 0,5136         | 0,4513                                 | 0,4510   |
| 825      | 33           | 0,5500     | 0,1931     | 0,0647              | 0,5041                        | 0,5072         | 0,4351                                 | 0,4324   |
| 850      | 34           | 0,5667     | 0,1924     | 0,0640              | 0,4981                        | 0,5011         | 0,4212                                 | 0,4144   |
| 875      | 35           | 0,5833     | 0,1916     | 0,0632              | 0,4924                        | 0,4952         | 0,3981                                 | 0,3974   |
| 900      | 36           | 0,6000     | 0,1909     | 0,0625              | 0,4868                        | 0,4896         | 0,3888                                 | 0,3808   |
| 925      | 37           | 0,6167     | 0,1902     | 0,0618              | 0,4815                        | 0,4842         | 0,3703                                 | 0,3649   |
| 950      | 38           | 0,6333     | 0,1896     | 0,0612              | 0,4767                        | 0,4791         | 0,3379                                 | 0,3505   |
| 975      | 39           | 0,6500     | 0,1890     | 0,0606              | 0,4718                        | 0,4743         | 0,3379                                 | 0,3360   |
| 1000     | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 1400     | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 1425     | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 1450     | 58           | 0,9667     | 0,1688     | 0,0404              | 0,3150                        | 0,3169         | 0,2757                                 |  |

ANEXO 8. Resultados de velocidad de secado de granos de quinua con recirculación.

Cuadro 25.  $V_1 = 0.5\text{m/seg.}$  y  $T_1 = 40^\circ\text{C}$  con recirculación.

Area bandeja = 0,11024 m<sup>2</sup>      Peso S.S. =0,1284 Kg

| Nº Datos | Tiempo (min) | Tiempo (h) | Peso en Kg | Humedad total en Kg | X kg H <sub>2</sub> O/kg s.s. | Valor Promedio | W Kg H <sub>2</sub> O/h.m <sup>2</sup> | W Predecido Kg H <sub>2</sub> O/h.m <sup>2</sup> |
|----------|--------------|------------|------------|---------------------|-------------------------------|----------------|--|--|
| 25       | 1            | 0,0167     | 0,2394     | 0,1110              | 0,8644                        |                |  |  |
| 50       | 2            | 0,0333     | 0,2404     | 0,1120              | 0,8724                        | 0,8684         | -0,5578                                |  |
| 75       | 3            | 0,0500     | 0,2408     | 0,1124              | 0,8754                        | 0,8739         | -0,2060                                |  |
| 100      | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 125      | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 150      | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 400      | 16           | 0,2667     | 0,2178     | 0,0894              | 0,6964                        | 0,7051         | 1,2267                                 | 1,1665   |
| 425      | 17           | 0,2833     | 0,2156     | 0,0872              | 0,6790                        | 0,6877         | 1,2151                                 | 1,1665   |
| 450      | 18           | 0,3000     | 0,2134     | 0,0850              | 0,6616                        | 0,6703         | 1,2128                                 | 1,1665   |
| 475      | 19           | 0,3167     | 0,2112     | 0,0828              | 0,6449                        | 0,6533         | 1,1665                                 | 1,1832   |
| 500      | 20           | 0,3333     | 0,2091     | 0,0807              | 0,6285                        | 0,6367         | 1,1480                                 | 1,1408   |
| 525      | 21           | 0,3500     | 0,2071     | 0,0787              | 0,6128                        | 0,6207         | 1,0970                                 | 1,1002   |
| 550      | 22           | 0,3667     | 0,2051     | 0,0767              | 0,5975                        | 0,6052         | 1,0670                                 | 1,0608   |
| 575      | 23           | 0,3833     | 0,2033     | 0,0749              | 0,5830                        | 0,5903         | 1,0184                                 | 1,0232   |
| 600      | 24           | 0,4000     | 0,2014     | 0,0730              | 0,5689                        | 0,5759         | 0,9860                                 | 0,9867   |
| 625      | 25           | 0,4167     | 0,1997     | 0,0713              | 0,5554                        | 0,5621         | 0,9443                                 | 0,9519   |
| 650      | 26           | 0,4333     | 0,1980     | 0,0696              | 0,5421                        | 0,5487         | 0,9235                                 | 0,9177   |
| 675      | 27           | 0,4500     | 0,1964     | 0,0680              | 0,5295                        | 0,5358         | 0,8864                                 | 0,8714   |
| 700      | 28           | 0,4667     | 0,1948     | 0,0664              | 0,5174                        | 0,5234         | 0,8425                                 | 0,8376   |
| 725      | 29           | 0,4833     | 0,1934     | 0,0650              | 0,5059                        | 0,5116         | 0,8054                                 | 0,8053   |
| 750      | 30           | 0,5000     | 0,1919     | 0,0635              | 0,4948                        | 0,5003         | 0,7730                                 | 0,7743   |
| 775      | 31           | 0,5167     | 0,1906     | 0,0622              | 0,4842                        | 0,4895         | 0,7406                                 | 0,7445   |
| 800      | 32           | 0,5333     | 0,1893     | 0,0609              | 0,4739                        | 0,4791         | 0,7198                                 | 0,7157   |
| 825      | 33           | 0,5500     | 0,1880     | 0,0596              | 0,4641                        | 0,4690         | 0,6874                                 | 0,6881   |
| 850      | 34           | 0,5667     | 0,1868     | 0,0584              | 0,4547                        | 0,4594         | 0,6527                                 | 0,6619   |
| 875      | 35           | 0,5833     | 0,1856     | 0,0572              | 0,4456                        | 0,4502         | 0,6365                                 | 0,6364   |
| 900      | 36           | 0,6000     | 0,1845     | 0,0561              | 0,4368                        | 0,4412         | 0,6156                                 | 0,6117   |
| 925      | 37           | 0,6167     | 0,1834     | 0,0550              | 0,4284                        | 0,4326         | 0,5856                                 | 0,5882   |
| 950      | 38           | 0,6333     | 0,1824     | 0,0540              | 0,4203                        | 0,4244         | 0,5670                                 | 0,5654   |
| 975      | 39           | 0,6500     | 0,1814     | 0,0530              | 0,4126                        | 0,4165         | 0,5416                                 | 0,5437   |
| 1000     | 40           | 0,6667     | 0,1804     | 0,0520              | 0,4050                        | 0,4088         | 0,5277                                 | 0,5226   |
| 1050     | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 1075     | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 1100     | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 1425     | 57           | 0,9500     | 0,1528     | 0,0244              | 0,1900                        | 0,1921         | 0,2986                                 |  |
| 1450     | 58           | 0,9667     | 0,1523     | 0,0239              | 0,1865                        | 0,1882         | 0,2421                                 |  |

Cuadro 26.  $V_1 = 0.5\text{m/seg}$  y  $T_1 = 50^\circ\text{C}$  con recirculación.

Area bandeja = 0,11024 m<sup>2</sup>      Peso S.S. = 0,1284 Kg

| Nº Datos | Tiempo (min) | Tiempo (h) | Peso en Kg | Humedad total en Kg | X kg H <sub>2</sub> O/kg s.s. | Valor Promedio | W Kg H <sub>2</sub> O/h.m <sup>2</sup> | W Predicado Kg H <sub>2</sub> O/h.m <sup>2</sup> |
|----------|--------------|------------|------------|---------------------|-------------------------------|----------------|--|--|
| 25       | 1            | 0,0167     | 0,2460     | 0,1176              | 0,9156                        |                |  |  |
| 50       | 2            | 0,0333     | 0,2469     | 0,1185              | 0,9229                        | 0,9192         | -0,5115                                |  |
| 75       | 3            | 0,0500     | 0,2474     | 0,1190              | 0,9271                        | 0,9250         | -0,2962                                |  |
| 100      | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 125      | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 150      | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 350      | 14           | 0,2333     | 0,2378     | 0,1094              | 0,8521                        | 0,8578         | 0,7915                                 |  |
| 375      | 15           | 0,2500     | 0,2363     | 0,1079              | 0,8405                        | 0,8463         | 0,8124                                 | 0,8101   |
| 400      | 16           | 0,2667     | 0,2348     | 0,1064              | 0,8287                        | 0,8346         | 0,8216                                 | 0,8101   |
| 425      | 17           | 0,2833     | 0,2333     | 0,1049              | 0,8168                        | 0,8228         | 0,8309                                 | 0,8101   |
| 450      | 18           | 0,3000     | 0,2318     | 0,1034              | 0,8051                        | 0,8109         | 0,8216                                 | 0,8101   |
| 475      | 19           | 0,3167     | 0,2303     | 0,1019              | 0,7935                        | 0,7993         | 0,8101                                 | 0,8101   |
| 500      | 20           | 0,3333     | 0,2288     | 0,1004              | 0,7820                        | 0,7878         | 0,7985                                 | 0,7945   |
| 525      | 21           | 0,3500     | 0,2274     | 0,0990              | 0,7711                        | 0,7766         | 0,7615                                 | 0,7767   |
| 550      | 22           | 0,3667     | 0,2260     | 0,0976              | 0,7600                        | 0,7656         | 0,7777                                 | 0,7586   |
| 575      | 23           | 0,3833     | 0,2246     | 0,0962              | 0,7495                        | 0,7548         | 0,7337                                 | 0,7414   |
| 600      | 24           | 0,4000     | 0,2233     | 0,0949              | 0,7394                        | 0,7445         | 0,7082                                 | 0,7231   |
| 625      | 25           | 0,4167     | 0,2221     | 0,0937              | 0,7297                        | 0,7346         | 0,6735                                 | 0,6911   |
| 650      | 26           | 0,4333     | 0,2209     | 0,0925              | 0,7205                        | 0,7251         | 0,6434                                 | 0,6605   |
| 675      | 27           | 0,4500     | 0,2198     | 0,0914              | 0,7117                        | 0,7161         | 0,6180                                 | 0,6313   |
| 700      | 28           | 0,4667     | 0,2187     | 0,0903              | 0,7032                        | 0,7074         | 0,5971                                 | 0,6031   |
| 725      | 29           | 0,4833     | 0,2177     | 0,0893              | 0,6951                        | 0,6991         | 0,5601                                 | 0,5763   |
| 750      | 30           | 0,5000     | 0,2167     | 0,0883              | 0,6875                        | 0,6913         | 0,5323                                 | 0,5509   |
| 775      | 31           | 0,5167     | 0,2157     | 0,0873              | 0,6801                        | 0,6838         | 0,5161                                 | 0,5266   |
| 800      | 32           | 0,5333     | 0,2148     | 0,0864              | 0,6731                        | 0,6766         | 0,4930                                 | 0,5032   |
| 825      | 33           | 0,5500     | 0,2140     | 0,0856              | 0,6664                        | 0,6698         | 0,4652                                 | 0,4810   |
| 850      | 34           | 0,5667     | 0,2131     | 0,0847              | 0,6600                        | 0,6632         | 0,4467                                 | 0,4599   |
| 875      | 35           | 0,5833     | 0,2124     | 0,0840              | 0,6538                        | 0,6569         | 0,4328                                 | 0,4395   |
| 900      | 36           | 0,6000     | 0,2116     | 0,0832              | 0,6479                        | 0,6509         | 0,4166                                 | 0,4198   |
| 925      | 37           | 0,6167     | 0,2109     | 0,0825              | 0,6422                        | 0,6450         | 0,3981                                 | 0,4009   |
| 950      | 38           | 0,6333     | 0,2102     | 0,0818              | 0,6368                        | 0,6395         | 0,3749                                 | 0,3830   |
| 975      | 39           | 0,6500     | 0,2095     | 0,0811              | 0,6317                        | 0,6342         | 0,3611                                 | 0,3659   |
| 1000     | 40           | 0,6667     | 0,2089     | 0,0805              | 0,6269                        | 0,6293         | 0,3310                                 | 0,3499   |
| 1025     | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 1050     | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 1075     | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 1425     | 57           | 0,9500     | 0,1895     | 0,0611              | 0,4759                        | 0,4779         | 0,2708                                 |  |
| 1450     | 58           | 0,9667     | 0,1891     | 0,0607              | 0,4731                        | 0,4745         | 0,1990                                 |  |

Cuadro 27.  $V_2 = 1\text{m/seg}$  y  $T_1 = 40^\circ\text{C}$  con recirculación.

|                                       |                      |
|---------------------------------------|----------------------|
| Area bandeja = 0,11024 m <sup>2</sup> | Peso S.S.= 0,1284 Kg |
|---------------------------------------|----------------------|

| Nº Datos | Tiempo (min) | Tiempo (h) | Peso en Kg | Humedad total en Kg | X kg H <sub>2</sub> O/kg s.s. | Valor Promedio | W Kg H <sub>2</sub> O/h.m <sup>2</sup> | W Predecido Kg H <sub>2</sub> O/h.m <sup>2</sup> |
|----------|--------------|------------|------------|---------------------|-------------------------------|----------------|--|--|
| 25       | 1            | 0,0167     | 0,2301     | 0,1017              | 0,7920                        |                |  |  |
| 50       | 2            | 0,0333     | 0,2325     | 0,1041              | 0,8104                        | 0,8012         | -1,2845                                |  |
| 75       | 3            | 0,0500     | 0,2340     | 0,1056              | 0,8227                        | 0,8165         | -0,8563                                |  |
| 325      | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 350      | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 375      | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 400      | 16           | 0,2667     | 0,2266     | 0,0982              | 0,7645                        | 0,7696         | 0,7105                                 |  |
| 425      | 17           | 0,2833     | 0,2252     | 0,0968              | 0,7539                        | 0,7592         | 0,7406                                 | 0,7846   |
| 450      | 18           | 0,3000     | 0,2238     | 0,0954              | 0,7434                        | 0,7486         | 0,7383                                 | 0,7846   |
| 475      | 19           | 0,3167     | 0,2225     | 0,0941              | 0,7328                        | 0,7381         | 0,7383                                 | 0,7846   |
| 500      | 20           | 0,3333     | 0,2211     | 0,0927              | 0,7222                        | 0,7275         | 0,7429                                 | 0,7846   |
| 525      | 21           | 0,3500     | 0,2198     | 0,0914              | 0,7118                        | 0,7170         | 0,7244                                 | 0,7846   |
| 550      | 22           | 0,3667     | 0,2185     | 0,0901              | 0,7016                        | 0,7067         | 0,7152                                 | 0,7727   |
| 575      | 23           | 0,3833     | 0,2172     | 0,0888              | 0,6916                        | 0,6966         | 0,6966                                 | 0,7612   |
| 600      | 24           | 0,4000     | 0,2159     | 0,0875              | 0,6817                        | 0,6866         | 0,6920                                 | 0,7498   |
| 625      | 25           | 0,4167     | 0,2147     | 0,0863              | 0,6719                        | 0,6768         | 0,6874                                 | 0,7006   |
| 650      | 26           | 0,4333     | 0,2134     | 0,0850              | 0,6622                        | 0,6671         | 0,6712                                 | 0,6586   |
| 675      | 27           | 0,4500     | 0,2123     | 0,0839              | 0,6533                        | 0,6578         | 0,6249                                 | 0,6194   |
| 700      | 28           | 0,4667     | 0,2112     | 0,0828              | 0,6449                        | 0,6491         | 0,5856                                 | 0,5828   |
| 725      | 29           | 0,4833     | 0,2102     | 0,0818              | 0,6371                        | 0,6410         | 0,5462                                 | 0,5485   |
| 750      | 30           | 0,5000     | 0,2093     | 0,0809              | 0,6298                        | 0,6335         | 0,5115                                 | 0,5165   |
| 775      | 31           | 0,5167     | 0,2084     | 0,0800              | 0,6230                        | 0,6264         | 0,4745                                 |  |
| 800      | 32           | 0,5333     | 0,2076     | 0,0792              | 0,6167                        | 0,6199         | 0,4374                                 |  |
| 825      | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 850      | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 1350     | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 1375     | 55           | 0,9167     | 0,1917     | 0,0633              | 0,4926                        | 0,4939         | 0,1782                                 |  |
| 1400     | 56           | 0,9333     | 0,1915     | 0,0631              | 0,4912                        | 0,4919         | 0,1018                                 |  |
| 1425     | 57           | 0,9500     | 0,1912     | 0,0628              | 0,4894                        | 0,4903         | 0,1204                                 |  |
| 1450     | 58           | 0,9667     | 0,1912     | 0,0628              | 0,4888                        | 0,4891         | 0,0463                                 |  |

Cuadro 28.  $V_2 = 1\text{m/seg}$  y  $T_2 = 50^\circ\text{C}$  con recirculación.

|                                       |                     |
|---------------------------------------|---------------------|
| Area bandeja = 0,11024 m <sup>2</sup> | Peso S.S.=0,1284 Kg |
|---------------------------------------|---------------------|

| Nº Datos | Tiempo (min) | Tiempo (h) | Peso en Kg | Humedad total en Kg | X kgH <sub>2</sub> O/kg s.s. | Valor Promedio | W Kg H <sub>2</sub> O/h.m <sup>2</sup> | W Predicado Kg H <sub>2</sub> O/h.m <sup>2</sup> |
|----------|--------------|------------|------------|---------------------|------------------------------|----------------|--|--|
| 25       | 1            | 0,0167     | 0,2507     | 0,1223              | 0,9525                       |                |  |  |
| 50       | 2            | 0,0333     | 0,2497     | 0,1213              | 0,9450                       | 0,9488         | 0,5231                                 |  |
| 75       | 3            | 0,0500     | 0,2494     | 0,1210              | 0,9421                       | 0,9436         | 0,2037                                 |  |
| 100      | 4            | 0,0667     | 0,2491     | 0,1207              | 0,9397                       | 0,9409         | 0,1713                                 |  |
| 125      | 5            | 0,0833     | 0,2485     | 0,1201              | 0,9356                       | 0,9376         | 0,2870                                 |  |
| 150      | 6            | 0,1000     | 0,2478     | 0,1194              | 0,9299                       | 0,9327         | 0,3981                                 |  |
| 175      | 7            | 0,1167     | 0,2468     | 0,1184              | 0,9222                       | 0,9260         | 0,5370                                 |  |
| 200      | 8            | 0,1333     | 0,2456     | 0,1172              | 0,9126                       | 0,9174         | 0,6712                                 |  |
| 225      | 9            | 0,1500     | 0,2442     | 0,1158              | 0,9015                       | 0,9070         | 0,7730                                 |  |
| 250      | 10           | 0,1667     | 0,2426     | 0,1142              | 0,8893                       | 0,8954         | 0,8563                                 | 0,8610   |
| 275      | 11           | 0,1833     | 0,2410     | 0,1126              | 0,8767                       | 0,8830         | 0,8749                                 | 0,8610   |
| 300      | 12           | 0,2000     | 0,2394     | 0,1110              | 0,8643                       | 0,8705         | 0,8702                                 | 0,8610   |
| 325      | 13           | 0,2167     | 0,2378     | 0,1094              | 0,8518                       | 0,8581         | 0,8702                                 | 0,8610   |
| 350      | 14           | 0,2333     | 0,2362     | 0,1078              | 0,8393                       | 0,8456         | 0,8749                                 | 0,8610   |
| 375      | 15           | 0,2500     | 0,2346     | 0,1062              | 0,8270                       | 0,8332         | 0,8610                                 | 0,8632   |
| 400      | 16           | 0,2667     | 0,2330     | 0,1046              | 0,8149                       | 0,8209         | 0,8471                                 | 0,8419   |
| 425      | 17           | 0,2833     | 0,2315     | 0,1031              | 0,8032                       | 0,8090         | 0,8147                                 | 0,8213   |
| 450      | 18           | 0,3000     | 0,2301     | 0,1017              | 0,7918                       | 0,7975         | 0,8008                                 | 0,8012   |
| 475      | 19           | 0,3167     | 0,2286     | 0,1002              | 0,7806                       | 0,7862         | 0,7823                                 | 0,7815   |
| 500      | 20           | 0,3333     | 0,2272     | 0,0988              | 0,7696                       | 0,7751         | 0,7684                                 | 0,7622   |
| 525      | 21           | 0,3500     | 0,2259     | 0,0975              | 0,7590                       | 0,7643         | 0,7360                                 | 0,7436   |
| 550      | 22           | 0,3667     | 0,2245     | 0,0961              | 0,7487                       | 0,7539         | 0,7221                                 | 0,7255   |
| 575      | 23           | 0,3833     | 0,2232     | 0,0948              | 0,7385                       | 0,7436         | 0,7128                                 | 0,7075   |
| 600      | 24           | 0,4000     | 0,2220     | 0,0936              | 0,7287                       | 0,7336         | 0,6851                                 | 0,6688   |
| 625      | 25           | 0,4167     | 0,2208     | 0,0924              | 0,7195                       | 0,7241         | 0,6434                                 | 0,6448   |
| 650      | .            | .          | .          | .                   | .                            | .              | .                                      | .  |
| 675      | .            | .          | .          | .                   | .                            | .              | .                                      | .  |
| 700      | .            | .          | .          | .                   | .                            | .              | .                                      | .  |
| 975      | 39           | 0,6500     | 0,2081     | 0,0797              | 0,6203                       | 0,6231         | 0,3842                                 | 0,3865   |
| 1000     | 40           | 0,6667     | 0,2074     | 0,0790              | 0,6150                       | 0,6177         | 0,3703                                 | 0,3727   |
| 1025     | 41           | 0,6833     | 0,2061     | 0,0777              | 0,6054                       | 0,6102         | 0,6712                                 |  |
| 1050     | .            | .          | .          | .                   | .                            | .              | .                                      | .  |
| 1075     | .            | .          | .          | .                   | .                            | .              | .                                      | .  |
| 1100     | .            | .          | .          | .                   | .                            | .              | .                                      | .  |
| 1375     | 55           | 0,9167     | 0,1871     | 0,0587              | 0,4570                       | 0,4603         | 0,4629                                 |  |
| 1400     | 56           | 0,9333     | 0,1863     | 0,0579              | 0,4509                       | 0,4540         | 0,4259                                 |  |
| 1425     | 57           | 0,9500     | 0,1856     | 0,0572              | 0,4453                       | 0,4481         | 0,3888                                 |  |
| 1450     | 58           | 0,9667     | 0,1849     | 0,0565              | 0,4402                       | 0,4428         | 0,3564                                 |  |





ANEXO 9. Resultados de velocidad de secado de plátano sin recirculación.

Cuadro 29.  $V_1 = 0.5\text{m/seg.}$  y  $T_1 = 40^\circ\text{C}$  sin recirculación.

Area bandeja = 0,11024 m<sup>2</sup>    Peso S.S. = 0,0706 Kg

| N° Datos | Tiempo (min) | Tiempo (h) | Peso en Kg | Humedad total en Kg | X kg H <sub>2</sub> O/kg s.s. | Valor Promedio | W Kg H <sub>2</sub> O/h.m <sup>2</sup> | W Predecido Kg H <sub>2</sub> O/h.m <sup>2</sup> |
|----------|--------------|------------|------------|---------------------|-------------------------------|----------------|--|--|
| 25       | 1            | 0,0167     | 0,1843     | 0,1137              | 1,6102                        |                |  |  |
| 50       | 2            | 0,0333     | 0,1855     | 0,1149              | 1,6278                        | 1,6190         | -0,6758                                |  |
| 75       | 3            | 0,0500     | 0,1863     | 0,1157              | 1,6384                        | 1,6331         | -0,4097                                |  |
| 100      | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 150      | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 1100     | 44           | 0,7333     | 0,1596     | 0,0890              | 1,2600                        | 1,2683         | 0,6342                                 | 0,6388   |
| 1125     | 45           | 0,7500     | 0,1584     | 0,0878              | 1,2434                        | 1,2517         | 0,6388                                 | 0,6388   |
| 1150     | 46           | 0,7667     | 0,1572     | 0,0866              | 1,2268                        | 1,2351         | 0,6388                                 | 0,6388   |
| 1175     | 47           | 0,7833     | 0,1561     | 0,0855              | 1,2106                        | 1,2187         | 0,6226                                 | 0,6289   |
| 1200     | 48           | 0,8000     | 0,1550     | 0,0844              | 1,1949                        | 1,2027         | 0,6041                                 | 0,6033   |
| 1225     | 49           | 0,8167     | 0,1539     | 0,0833              | 1,1796                        | 1,1872         | 0,5856                                 | 0,5785   |
| 1250     | 50           | 0,8333     | 0,1529     | 0,0823              | 1,1650                        | 1,1723         | 0,5601                                 | 0,5547   |
| 1275     | 51           | 0,8500     | 0,1519     | 0,0813              | 1,1513                        | 1,1581         | 0,5300                                 | 0,5323   |
| 1300     | 52           | 0,8667     | 0,1509     | 0,0803              | 1,1381                        | 1,1447         | 0,5069                                 | 0,5108   |
| 1325     | 53           | 0,8833     | 0,1500     | 0,0794              | 1,1253                        | 1,1317         | 0,4907                                 | 0,4900   |
| 1350     | 54           | 0,9000     | 0,1492     | 0,0786              | 1,1131                        | 1,1192         | 0,4698                                 | 0,4701   |
| 1375     | 55           | 0,9167     | 0,1484     | 0,0778              | 1,1015                        | 1,1073         | 0,4444                                 | 0,4513   |
| 1400     | 56           | 0,9333     | 0,1475     | 0,0769              | 1,0899                        | 1,0957         | 0,4444                                 | 0,4325   |
| 1425     | 57           | 0,9500     | 0,1468     | 0,0762              | 1,0793                        | 1,0846         | 0,4097                                 | 0,4151   |
| 1450     | 58           | 0,9667     | 0,1460     | 0,0754              | 1,0687                        | 1,0740         | 0,4073                                 | 0,3940   |
| 1475     | 59           | 0,9833     | 0,1453     | 0,0747              | 1,0585                        | 1,0636         | 0,3911                                 | 0,3937   |
| 1500     | 60           | 1,0000     | 0,1446     | 0,0740              | 1,0483                        | 1,0534         | 0,3935                                 | 0,3934   |
| 1525     | 61           | 1,0167     | 0,1439     | 0,0733              | 1,0382                        | 1,0432         | 0,3865                                 | 0,3932   |
| 1550     | 62           | 1,0333     | 0,1432     | 0,0726              | 1,0281                        | 1,0331         | 0,3888                                 | 0,3929   |
| 1575     | 63           | 1,0500     | 0,1425     | 0,0719              | 1,0180                        | 1,0230         | 0,3888                                 | 0,3926   |
| 1600     | 64           | 1,0667     | 0,1418     | 0,0712              | 1,0079                        | 1,0129         | 0,3865                                 | 0,3923   |
| 1625     | 65           | 1,0833     | 0,1410     | 0,0704              | 0,9977                        | 1,0028         | 0,3935                                 | 0,3921   |
| 1650     | 66           | 1,1000     | 0,1403     | 0,0697              | 0,9874                        | 0,9925         | 0,3935                                 | 0,3918   |
| .        | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| .        | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 3550     | 142          | 2,3667     | 0,0929     | 0,0223              | 0,3158                        | 0,3167         | 0,0717                                 |  |
| 3575     | 143          | 2,3833     | 0,0928     | 0,0222              | 0,3141                        | 0,3149         | 0,0648                                 |  |
| 3600     | 144          | 2,4000     | 0,0926     | 0,0220              | 0,3110                        | 0,3125         | 0,1180                                 |  |
| 3625     | 145          | 2,4167     | 0,0924     | 0,0218              | 0,3084                        | 0,3097         | 0,1018                                 |  |
| 3650     | 146          | 2,4333     | 0,0922     | 0,0216              | 0,3054                        | 0,3069         | 0,1157                                 |  |
| 3675     | 147          | 2,4500     | 0,0919     | 0,0213              | 0,3017                        | 0,3035         | 0,1389                                 |  |
| 3700     | 148          | 2,4667     | 0,0916     | 0,0210              | 0,2975                        | 0,2996         | 0,1643                                 |  |
| 3725     | 149          | 2,4833     | 0,0913     | 0,0207              | 0,2938                        | 0,2956         | 0,1412                                 |  |
| 3750     | 150          | 2,5000     | 0,0910     | 0,0204              | 0,2888                        | 0,2913         | 0,1921                                 |  |

Cuadro 30.  $V_1 = 0.5\text{m/seg}$  y  $T_2 = 50^\circ\text{C}$  sin recirculación.

|                                       |                       |
|---------------------------------------|-----------------------|
| Area bandeja = 0,11024 m <sup>2</sup> | Peso S.S. = 0,0706 Kg |
|---------------------------------------|-----------------------|

| Nº Datos | Tiempo (min) | Tiempo (h) | Peso en Kg | Humedad total en Kg | X kg H <sub>2</sub> O/kg s.s. | Valor Promedio | W Kg H <sub>2</sub> O/h.m <sup>2</sup> | W Predecido Kg H <sub>2</sub> O/h.m <sup>2</sup> |
|----------|--------------|------------|------------|---------------------|-------------------------------|----------------|--|--|
| 25       | 1            | 0,0167     | 0,1788     | 0,1082              | 1,5319                        |                |  |  |
| 50       | 2            | 0,0333     | 0,1781     | 0,1075              | 1,5222                        | 1,5270         | 0,3726                                 |  |
| 75       | 3            | 0,0500     | 0,1777     | 0,1071              | 1,5173                        | 1,5198         | 0,1875                                 |  |
| 100      | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 125      | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 150      | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 975      | 39           | 0,6500     | 0,1397     | 0,0691              | 0,9794                        | 0,9866         | 0,5485                                 |  |
| 1000     | 40           | 0,6667     | 0,1388     | 0,0682              | 0,9655                        | 0,9725         | 0,5346                                 |  |
| 1025     | 41           | 0,6833     | 0,1373     | 0,0667              | 0,9444                        | 0,9550         | 0,8101                                 |  |
| 1050     | 42           | 0,7000     | 0,1353     | 0,0647              | 0,9165                        | 0,9305         | 1,0739                                 | 1,0855   |
| 1075     | 43           | 0,7167     | 0,1333     | 0,0627              | 0,8887                        | 0,9026         | 1,0693                                 | 1,0855   |
| 1100     | 44           | 0,7333     | 0,1314     | 0,0608              | 0,8605                        | 0,8746         | 1,0808                                 | 1,0855   |
| 1125     | 45           | 0,7500     | 0,1294     | 0,0588              | 0,8322                        | 0,8464         | 1,0901                                 | 1,0855   |
| 1150     | 46           | 0,7667     | 0,1273     | 0,0567              | 0,8033                        | 0,8178         | 1,1086                                 | 1,0855   |
| 1175     | 47           | 0,7833     | 0,1253     | 0,0547              | 0,7747                        | 0,7890         | 1,0994                                 | 1,0855   |
| 1200     | 48           | 0,8000     | 0,1233     | 0,0527              | 0,7465                        | 0,7606         | 1,0832                                 | 1,0855   |
| 1225     | 49           | 0,8167     | 0,1213     | 0,0507              | 0,7183                        | 0,7324         | 1,0855                                 | 1,0855   |
| 1250     | 50           | 0,8333     | 0,1194     | 0,0488              | 0,6906                        | 0,7045         | 1,0623                                 | 1,0821   |
| 1275     | 51           | 0,8500     | 0,1175     | 0,0469              | 0,6638                        | 0,6772         | 1,0322                                 | 1,0260   |
| 1300     | 52           | 0,8667     | 0,1157     | 0,0451              | 0,6382                        | 0,6510         | 0,9836                                 | 0,9726   |
| 1325     | 53           | 0,8833     | 0,1139     | 0,0433              | 0,6140                        | 0,6261         | 0,9304                                 | 0,9220   |
| 1350     | 54           | 0,9000     | 0,1123     | 0,0417              | 0,5909                        | 0,6024         | 0,8864                                 | 0,8738   |
| 1375     | 55           | 0,9167     | 0,1108     | 0,0402              | 0,5692                        | 0,5800         | 0,8332                                 | 0,8286   |
| 1400     | 56           | 0,9333     | 0,1093     | 0,0387              | 0,5488                        | 0,5590         | 0,7823                                 | 0,7861   |
| 1425     | 57           | 0,9500     | 0,1080     | 0,0374              | 0,5297                        | 0,5393         | 0,7360                                 | 0,7461   |
| 1450     | 58           | 0,9667     | 0,1067     | 0,0361              | 0,5119                        | 0,5208         | 0,6851                                 | 0,7088   |
| 1475     | 59           | 0,9833     | 0,1055     | 0,0349              | 0,4945                        | 0,5032         | 0,6666                                 | 0,6726   |
| 1500     | 60           | 1,0000     | 0,1043     | 0,0337              | 0,4774                        | 0,4860         | 0,6573                                 | 0,6369   |
| 1525     | 61           | 1,0167     | 0,1031     | 0,0325              | 0,4610                        | 0,4692         | 0,6295                                 | 0,6322   |
| 1550     | 62           | 1,0333     | 0,1021     | 0,0315              | 0,4456                        | 0,4533         | 0,5925                                 | 0,5958   |
| 1575     | 63           | 1,0500     | 0,1010     | 0,0304              | 0,4308                        | 0,4382         | 0,5670                                 | 0,5610   |
| 1600     | 64           | 1,0667     | 0,1000     | 0,0294              | 0,4170                        | 0,4239         | 0,5323                                 | 0,5284   |
| 1625     | 65           | 1,0833     | 0,0991     | 0,0285              | 0,4041                        | 0,4106         | 0,4953                                 | 0,4980   |
| 1650     | 66           | 1,1000     | 0,0983     | 0,0277              | 0,3918                        | 0,3979         | 0,4745                                 | 0,4688   |
| 1675     | 67           | 1,1167     | 0,0974     | 0,0268              | 0,3802                        | 0,3860         | 0,4444                                 | 0,4416   |
| 1700     | 68           | 1,1333     | 0,0967     | 0,0261              | 0,3695                        | 0,3748         | 0,4120                                 | 0,4163   |
| 1725     | 69           | 1,1500     | 0,0960     | 0,0254              | 0,3594                        | 0,3644         | 0,3888                                 | 0,3924   |
| .        | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| .        | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 3650     | 146          | 2,4333     | 0,0736     | 0,0030              | 0,0431                        | 0,0424         | -0,0532                                |  |
| 3675     | 147          | 2,4500     | 0,0738     | 0,0032              | 0,0453                        | 0,0442         | -0,0856                                |  |
| 3700     | 148          | 2,4667     | 0,0740     | 0,0034              | 0,0486                        | 0,0469         | -0,1250                                |  |
| 3725     | 149          | 2,4833     | 0,0743     | 0,0037              | 0,0528                        | 0,0507         | -0,1620                                |  |
| 3750     | 150          | 2,5000     | 0,0747     | 0,0041              | 0,0579                        | 0,0553         | -0,1967                                |  |

Cuadro 31.  $V_2 = 1\text{m/seg}$  y  $T_1 = 40^\circ\text{C}$  sin recirculación.

Area bandeja = 0,11024 m<sup>2</sup>      Peso S.S. = 0,0706 Kg

| Nº Datos | Tiempo (min) | Tiempo (h) | Peso en Kg | Humedad total en Kg | X kg H <sub>2</sub> O/kg s.s. | Valor Promedio | W Kg H <sub>2</sub> O/h.m <sup>2</sup> | W Predecido Kg H <sub>2</sub> O/h.m <sup>2</sup> |
|----------|--------------|------------|------------|---------------------|-------------------------------|----------------|--|--|
| 25       | 1            | 0,0167     | 0,1890     | 0,1184              | 1,6774                        |                |  |  |
| 50       | 2            | 0,0333     | 0,1903     | 0,1197              | 1,6960                        | 1,6867         | -0,7128                                |  |
| 75       | 3            | 0,0500     | 0,1913     | 0,1207              | 1,7093                        | 1,7026         | -0,5115                                |  |
| 100      | 4            | 0,0667     | 0,1918     | 0,1212              | 1,7162                        | 1,7128         | -0,2685                                |  |
| 125      | 5            | 0,0833     | 0,1921     | 0,1215              | 1,7205                        | 1,7184         | -0,1643                                |  |
| 150      | 6            | 0,1000     | 0,1921     | 0,1215              | 1,7213                        | 1,7209         | -0,0301                                |  |
| 300      | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 325      | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 1000     | 40           | 0,6667     | 0,1527     | 0,0821              | 1,1636                        | 1,1711         | 0,5832                                 |  |
| 1025     | 41           | 0,6833     | 0,1512     | 0,0806              | 1,1418                        | 1,1527         | 0,8355                                 |  |
| 1050     | 42           | 0,7000     | 0,1492     | 0,0786              | 1,1131                        | 1,1274         | 1,1040                                 |  |
| 1075     | 43           | 0,7167     | 0,1471     | 0,0765              | 1,0831                        | 1,0981         | 1,1503                                 | 1,1480   |
| 1100     | 44           | 0,7333     | 0,1449     | 0,0743              | 1,0530                        | 1,0681         | 1,1595                                 | 1,1480   |
| 1125     | 45           | 0,7500     | 0,1428     | 0,0722              | 1,0224                        | 1,0377         | 1,1734                                 | 1,1480   |
| 1150     | 46           | 0,7667     | 0,1406     | 0,0700              | 0,9921                        | 1,0073         | 1,1665                                 | 1,1480   |
| 1175     | 47           | 0,7833     | 0,1385     | 0,0679              | 0,9622                        | 0,9771         | 1,1480                                 | 1,1480   |
| 1200     | 48           | 0,8000     | 0,1365     | 0,0659              | 0,9332                        | 0,9477         | 1,1156                                 | 1,1304   |
| 1225     | 49           | 0,8167     | 0,1345     | 0,0639              | 0,9054                        | 0,9193         | 1,0670                                 | 1,0560   |
| 1250     | 50           | 0,8333     | 0,1327     | 0,0621              | 0,8794                        | 0,8924         | 0,9998                                 | 0,9863   |
| 1275     | 51           | 0,8500     | 0,1310     | 0,0604              | 0,8553                        | 0,8673         | 0,9258                                 | 0,9218   |
| 1300     | 52           | 0,8667     | 0,1294     | 0,0588              | 0,8332                        | 0,8442         | 0,8494                                 | 0,8626   |
| 1325     | 53           | 0,8833     | 0,1280     | 0,0574              | 0,8131                        | 0,8231         | 0,7730                                 | 0,8463   |
| 1350     | 54           | 0,9000     | 0,1267     | 0,0561              | 0,7948                        | 0,8039         | 0,7036                                 | 0,7230   |
| 1375     | 55           | 0,9167     | 0,1256     | 0,0550              | 0,7784                        | 0,7866         | 0,6272                                 | 0,6130   |
| 1400     | 56           | 0,9333     | 0,1245     | 0,0539              | 0,7640                        | 0,7712         | 0,5532                                 | 0,5160   |
| 1425     | 57           | 0,9500     | 0,1237     | 0,0531              | 0,7519                        | 0,7580         | 0,4675                                 | 0,4340   |
| 1450     | 58           | 0,9667     | 0,1229     | 0,0523              | 0,7410                        | 0,7464         | 0,4166                                 | 0,3609   |
| 1475     | 59           | 0,9833     | 0,1223     | 0,0517              | 0,7318                        | 0,7364         | 0,3564                                 | 0,2984   |
| 1500     | 60           | 1,0000     | 0,1217     | 0,0511              | 0,7241                        | 0,7279         | 0,2939                                 | 0,2469   |
| 1525     | 61           | 1,0167     | 0,1213     | 0,0507              | 0,7180                        | 0,7210         | 0,2361                                 | 0,2055   |
| 1550     | 62           | 1,0333     | 0,1209     | 0,0503              | 0,7130                        | 0,7155         | 0,1921                                 | 0,1718   |
| 1575     | 63           | 1,0500     | 0,1207     | 0,0501              | 0,7096                        | 0,7113         | 0,1296                                 | 0,1491   |
| 1600     | 64           | 1,0667     | 0,1205     | 0,0499              | 0,7068                        | 0,7082         | 0,1065                                 | 0,1304   |
| 1625     | 65           | 1,0833     | 0,1204     | 0,0498              | 0,7056                        | 0,7062         | 0,0463                                 | 0,1223   |
| .        | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| .        | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 3675     | 147          | 2,4500     | 0,0801     | 0,0095              | 0,1341                        | 0,1329         | -0,0972                                |  |
| 3700     | 148          | 2,4667     | 0,0802     | 0,0096              | 0,1362                        | 0,1352         | -0,0810                                |  |
| 3725     | 149          | 2,4833     | 0,0803     | 0,0097              | 0,1374                        | 0,1368         | -0,0440                                |  |
| 3750     | 150          | 2,5000     | 0,0804     | 0,0098              | 0,1389                        | 0,1381         | -0,0579                                |  |

Cuadro 32.  $V_2 = 1\text{m/seg.}$  y  $T_2 = 50^\circ\text{C}$  sin recirculación

Area bandeja = 0,11024 m<sup>2</sup>      Peso S.S. = 0,0706 Kg

| Nº Datos | Tiempo (min) | Tiempo (h) | Peso en Kg | Humedad total en Kg | X kgH <sub>2</sub> O/kg s.s. | Valor Promedio | W Kg H <sub>2</sub> O/h.m <sup>2</sup> | W Predecido Kg H <sub>2</sub> O/h.m <sup>2</sup> |
|----------|--------------|------------|------------|---------------------|------------------------------|----------------|--|--|
| 25       | 1            | 0,0167     | 0,1915     | 0,1209              | 1,7121                       |                |  |  |
| 50       | 2            | 0,0333     | 0,1915     | 0,1209              | 1,7121                       | 1,7121         | 0,0000                                 |  |
| 75       | 3            | 0,0500     | 0,1915     | 0,1209              | 1,7122                       | 1,7121         | -0,0046                                |  |
| 100      | .            | .          | .          | .                   | .                            | .              | .                                      | .  |
| 125      | .            | .          | .          | .                   | .                            | .              | .                                      | .  |
| 1825     | 73           | 1,2167     | 0,1394     | 0,0688              | 0,9742                       | 0,9834         | 0,7105                                 | 0,6897   |
| 1850     | 74           | 1,2333     | 0,1381     | 0,0675              | 0,9555                       | 0,9648         | 0,7198                                 | 0,6897   |
| 1875     | 75           | 1,2500     | 0,1368     | 0,0662              | 0,9370                       | 0,9462         | 0,7082                                 | 0,6897   |
| 1900     | 76           | 1,2667     | 0,1354     | 0,0648              | 0,9185                       | 0,9278         | 0,7105                                 | 0,6897   |
| 1925     | 77           | 1,2833     | 0,1342     | 0,0636              | 0,9003                       | 0,9094         | 0,7013                                 | 0,6897   |
| 1950     | 78           | 1,3000     | 0,1329     | 0,0623              | 0,8821                       | 0,8912         | 0,6990                                 | 0,6897   |
| 1975     | 79           | 1,3167     | 0,1316     | 0,0610              | 0,8639                       | 0,8730         | 0,6990                                 | 0,6897   |
| 2000     | 80           | 1,3333     | 0,1303     | 0,0597              | 0,8459                       | 0,8549         | 0,6920                                 | 0,6897   |
| 2025     | 81           | 1,3500     | 0,1290     | 0,0584              | 0,8276                       | 0,8368         | 0,7013                                 | 0,6897   |
| 2050     | 82           | 1,3667     | 0,1278     | 0,0572              | 0,8099                       | 0,8188         | 0,6828                                 | 0,6897   |
| 2075     | 83           | 1,3833     | 0,1265     | 0,0559              | 0,7919                       | 0,8009         | 0,6897                                 | 0,6897   |
| 2100     | 84           | 1,4000     | 0,1252     | 0,0546              | 0,7740                       | 0,7830         | 0,6874                                 | 0,6897   |
| 2125     | 85           | 1,4167     | 0,1240     | 0,0534              | 0,7562                       | 0,7651         | 0,6851                                 | 0,6897   |
| 2150     | 86           | 1,4333     | 0,1227     | 0,0521              | 0,7386                       | 0,7474         | 0,6781                                 | 0,6897   |
| 2175     | 87           | 1,4500     | 0,1215     | 0,0509              | 0,7207                       | 0,7296         | 0,6874                                 | 0,6897   |
| 2200     | 88           | 1,4667     | 0,1202     | 0,0496              | 0,7031                       | 0,7119         | 0,6758                                 | 0,6897   |
| 2225     | 89           | 1,4833     | 0,1190     | 0,0484              | 0,6851                       | 0,6941         | 0,6897                                 | 0,6897   |
| 2250     | 90           | 1,5000     | 0,1177     | 0,0471              | 0,6673                       | 0,6762         | 0,6851                                 | 0,6897   |
| 2275     | 91           | 1,5167     | 0,1165     | 0,0459              | 0,6499                       | 0,6586         | 0,6689                                 | 0,6728   |
| 2300     | 92           | 1,5333     | 0,1153     | 0,0447              | 0,6328                       | 0,6413         | 0,6573                                 | 0,6468   |
| 2325     | 93           | 1,5500     | 0,1141     | 0,0435              | 0,6163                       | 0,6246         | 0,6318                                 | 0,6217   |
| 2350     | 94           | 1,5667     | 0,1130     | 0,0424              | 0,6006                       | 0,6085         | 0,6064                                 | 0,5976   |
| 2375     | 95           | 1,5833     | 0,1119     | 0,0413              | 0,5854                       | 0,5930         | 0,5832                                 | 0,5744   |
| 2400     | 96           | 1,6000     | 0,1109     | 0,0403              | 0,5712                       | 0,5783         | 0,5462                                 | 0,5528   |
| 2425     | 97           | 1,6167     | 0,1100     | 0,0394              | 0,5577                       | 0,5644         | 0,5184                                 | 0,5322   |
| 2450     | 98           | 1,6333     | 0,1091     | 0,0385              | 0,5455                       | 0,5516         | 0,4675                                 | 0,4828   |
| 2475     | 99           | 1,6500     | 0,1083     | 0,0377              | 0,5335                       | 0,5395         | 0,4606                                 | 0,4428   |
| 2500     | 100          | 1,6667     | 0,1075     | 0,0369              | 0,5229                       | 0,5282         | 0,4073                                 | 0,4075   |
| 2525     | 101          | 1,6833     | 0,1068     | 0,0362              | 0,5132                       | 0,5180         | 0,3749                                 | 0,3749   |
| 2550     | 102          | 1,7000     | 0,1062     | 0,0356              | 0,5036                       | 0,5084         | 0,3680                                 | 0,3430   |
| 2575     | 103          | 1,7167     | 0,1056     | 0,0350              | 0,4959                       | 0,4998         | 0,2939                                 | 0,3175   |
| 2600     | 104          | 1,7333     | 0,1051     | 0,0345              | 0,4886                       | 0,4923         | 0,2824                                 | 0,2930   |
| 2625     | 105          | 1,7500     | 0,1046     | 0,0340              | 0,4816                       | 0,4851         | 0,2685                                 | 0,2697   |
| .        | .            | .          | .          | .                   | .                            | .              | .                                      | .  |
| .        | .            | .          | .          | .                   | .                            | .              | .                                      | .  |
| 3675     | 147          | 2,4500     | 0,0859     | 0,0153              | 0,2172                       | 0,2216         | 0,3356                                 |  |
| 3700     | 148          | 2,4667     | 0,0853     | 0,0147              | 0,2084                       | 0,2128         | 0,3402                                 |  |
| 3725     | 149          | 2,4833     | 0,0847     | 0,0141              | 0,1999                       | 0,2041         | 0,3263                                 |  |
| 3750     | 150          | 2,5000     | 0,0841     | 0,0135              | 0,1913                       | 0,1956         | 0,3310                                 |  |

ANEXO 10. Velocidad de secado plátano con recirculación.

Cuadro 33.  $V_1 = 0.5\text{m/seg.}$  y  $T_1 = 40^\circ\text{C}$  con recirculación.

| Area bandeja = 0,11024 m <sup>2</sup> Peso S.S.=0,0706 Kg |              |            |            |                     |                              |                |  |  |
|---|--------------|------------|------------|---------------------|------------------------------|----------------|--|--|
| Nº Datos  | Tiempo (min) | Tiempo (h) | Peso en Kg | Humedad total en Kg | X kgH <sub>2</sub> O/kg s.s. | Valor Promedio | W Kg H <sub>2</sub> O/h.m <sup>2</sup> | W Predecido Kg H <sub>2</sub> O/h.m <sup>2</sup> |
| 25  | 1            | 0,0167     | 0,1737     | 0,1031              | 1,4602                       |                |  |  |
| 50  | 2            | 0,0333     | 0,1747     | 0,1041              | 1,4743                       | 1,4672         | -0,5423                                |  |
| 75  | 3            | 0,0500     | 0,1753     | 0,1047              | 1,4836                       | 1,4789         | -0,3567                                |  |
| 100   | 4            | 0,0667     | 0,1758     | 0,1052              | 1,4896                       | 1,4866         | -0,2302                                |  |
| 125   | 5            | 0,0833     | 0,1759     | 0,1053              | 1,4922                       | 1,4909         | -0,1006                                |  |
| 150   | 6            | 0,1000     | 0,1759     | 0,1053              | 1,4909                       | 1,4915         | 0,0496                                 |  |
| 175   | 7            | 0,1167     | 0,1756     | 0,1050              | 1,4866                       | 1,4887         | 0,1643                                 |  |
| 200   | 8            | 0,1333     | 0,1751     | 0,1045              | 1,4806                       | 1,4836         | 0,2322                                 |  |
| 225   | 9            | 0,1500     | 0,1745     | 0,1039              | 1,4719                       | 1,4762         | 0,3336                                 |  |
| 250   | 10           | 0,1667     | 0,1737     | 0,1031              | 1,4610                       | 1,4664         | 0,4194                                 |  |
| 275   | .            | .          | .          | .                   | .                            | .              | .                                      | .  |
| 300   | .            | .          | .          | .                   | .                            | .              | .                                      | .  |
| 1100  | 44           | 0,7333     | 0,1377     | 0,0671              | 0,9510                       | 0,9607         | 0,7450                                 | 0,7317   |
| 1125  | 45           | 0,7500     | 0,1364     | 0,0658              | 0,9320                       | 0,9415         | 0,7317                                 | 0,7317   |
| 1150  | 46           | 0,7667     | 0,1351     | 0,0645              | 0,9138                       | 0,9229         | 0,6981                                 | 0,7111   |
| 1175  | 47           | 0,7833     | 0,1339     | 0,0633              | 0,8963                       | 0,9051         | 0,6732                                 | 0,6611   |
| 1200  | 48           | 0,8000     | 0,1327     | 0,0621              | 0,8801                       | 0,8882         | 0,6237                                 | 0,6148   |
| 1225  | 49           | 0,8167     | 0,1317     | 0,0611              | 0,8651                       | 0,8726         | 0,5738                                 | 0,5722   |
| 1250  | 50           | 0,8333     | 0,1307     | 0,0601              | 0,8515                       | 0,8583         | 0,5240                                 | 0,5333   |
| 1275  | 51           | 0,8500     | 0,1299     | 0,0593              | 0,8393                       | 0,8454         | 0,4696                                 | 0,4678   |
| 1300  | 52           | 0,8667     | 0,1291     | 0,0585              | 0,8289                       | 0,8341         | 0,3994                                 | 0,4109   |
| 1325  | 53           | 0,8833     | 0,1285     | 0,0579              | 0,8194                       | 0,8242         | 0,3630                                 | 0,3591   |
| 1350  | 54           | 0,9000     | 0,1279     | 0,0573              | 0,8112                       | 0,8153         | 0,3175                                 | 0,3138   |
| 1375  | 55           | 0,9167     | 0,1274     | 0,0568              | 0,8043                       | 0,8078         | 0,2630                                 | 0,2763   |
| 1400  | 56           | 0,9333     | 0,1269     | 0,0563              | 0,7979                       | 0,8011         | 0,2465                                 | 0,2411   |
| 1425  | 57           | 0,9500     | 0,1265     | 0,0559              | 0,7921                       | 0,7950         | 0,2237                                 | 0,2092   |
| 1450  | 58           | 0,9667     | 0,1262     | 0,0556              | 0,7872                       | 0,7896         | 0,1893                                 | 0,1822   |
| 1475  | 59           | 0,9833     | 0,1259     | 0,0553              | 0,7827                       | 0,7850         | 0,1706                                 | 0,1579   |
| 1500  | 60           | 1,0000     | 0,1256     | 0,0550              | 0,7791                       | 0,7809         | 0,1386                                 | 0,1381   |
| 1525  | 61           | 1,0167     | 0,1254     | 0,0548              | 0,7759                       | 0,7775         | 0,1223                                 | 0,1207   |
| .   | .            | .          | .          | .                   | .                            | .              | .                                      | .  |
| .   | .            | .          | .          | .                   | .                            | .              | .                                      | .  |
| 3525  | 141          | 2,3500     | 0,0995     | 0,0289              | 0,4088                       | 0,4097         | 0,0712                                 |  |
| 3550  | 142          | 2,3667     | 0,0993     | 0,0287              | 0,4067                       | 0,4077         | 0,0823                                 |  |
| 3575  | 143          | 2,3833     | 0,0991     | 0,0285              | 0,4037                       | 0,4052         | 0,1135                                 |  |
| 3600  | 144          | 2,4000     | 0,0989     | 0,0283              | 0,4003                       | 0,4020         | 0,1313                                 |  |
| 3625  | 145          | 2,4167     | 0,0986     | 0,0280              | 0,3961                       | 0,3982         | 0,1602                                 |  |
| 3650  | 146          | 2,4333     | 0,0982     | 0,0276              | 0,3916                       | 0,3938         | 0,1758                                 |  |
| 3675  | 147          | 2,4500     | 0,0979     | 0,0273              | 0,3863                       | 0,3890         | 0,2003                                 |  |
| 3700  | 148          | 2,4667     | 0,0975     | 0,0269              | 0,3808                       | 0,3836         | 0,2136                                 |  |
| 3725  | 149          | 2,4833     | 0,0971     | 0,0265              | 0,3749                       | 0,3778         | 0,2270                                 |  |
| 3750  | 150          | 2,5000     | 0,0966     | 0,0260              | 0,3686                       | 0,3717         | 0,2403                                 |  |

Cuadro 34.  $V_1 = 0.5\text{m/seg.}$  y  $T_2 = 50^\circ\text{C}$  con recirculación.

Area bandeja = 0,11024 m<sup>2</sup>      Peso S.S. = 0,0706 Kg

| Nº Datos | Tiempo (min) | Tiempo (h) | Peso en Kg | Humedad total en Kg | X kg H <sub>2</sub> O/kg s.s. | Valor Promedio | W Kg H <sub>2</sub> O/h.m <sup>2</sup> | W Predecido Kg H <sub>2</sub> O/h.m <sup>2</sup> |
|----------|--------------|------------|------------|---------------------|-------------------------------|----------------|--|--|
| 25       | 1            | 0,0167     | 0,1856     | 0,1150              | 1,6295                        |                |  |  |
| 50       | 2            | 0,0333     | 0,1858     | 0,1152              | 1,6322                        | 1,6308         | -0,1018                                |  |
| 75       | 3            | 0,0500     | 0,1861     | 0,1155              | 1,6363                        | 1,6342         |  |  |
| .        | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| .        | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 1050     | 42           | 0,7000     | 0,1458     | 0,0752              | 1,0645                        | 1,0767         | 0,9373                                 | 0,9489   |
| 1075     | 43           | 0,7167     | 0,1440     | 0,0734              | 1,0400                        | 1,0523         | 0,9443                                 | 0,9489   |
| 1100     | 44           | 0,7333     | 0,1422     | 0,0716              | 1,0149                        | 1,0274         | 0,9651                                 | 0,9489   |
| 1125     | 45           | 0,7500     | 0,1405     | 0,0699              | 0,9902                        | 1,0025         | 0,9489                                 | 0,9489   |
| 1150     | 46           | 0,7667     | 0,1388     | 0,0682              | 0,9663                        | 0,9782         | 0,9165                                 | 0,9200   |
| 1175     | 47           | 0,7833     | 0,1372     | 0,0666              | 0,9434                        | 0,9549         | 0,8795                                 | 0,8876   |
| 1200     | 48           | 0,8000     | 0,1356     | 0,0650              | 0,9210                        | 0,9322         | 0,8610                                 | 0,8559   |
| 1225     | 49           | 0,8167     | 0,1341     | 0,0635              | 0,8994                        | 0,9102         | 0,8309                                 | 0,8253   |
| 1250     | 50           | 0,8333     | 0,1326     | 0,0620              | 0,8785                        | 0,8890         | 0,8008                                 | 0,7959   |
| 1275     | 51           | 0,8500     | 0,1312     | 0,0606              | 0,8584                        | 0,8685         | 0,7730                                 | 0,7674   |
| 1300     | 52           | 0,8667     | 0,1298     | 0,0592              | 0,8392                        | 0,8488         | 0,7406                                 | 0,7402   |
| 1325     | 53           | 0,8833     | 0,1285     | 0,0579              | 0,8207                        | 0,8299         | 0,7082                                 | 0,7141   |
| 1350     | 54           | 0,9000     | 0,1273     | 0,0567              | 0,8029                        | 0,8118         | 0,6851                                 | 0,6889   |
| 1375     | 55           | 0,9167     | 0,1261     | 0,0555              | 0,7854                        | 0,7942         | 0,6712                                 | 0,6642   |
| 1400     | 56           | 0,9333     | 0,1249     | 0,0543              | 0,7689                        | 0,7772         | 0,6342                                 | 0,6409   |
| 1425     | 57           | 0,9500     | 0,1238     | 0,0532              | 0,7534                        | 0,7612         | 0,5948                                 | 0,6046   |
| 1450     | 58           | 0,9667     | 0,1227     | 0,0521              | 0,7386                        | 0,7460         | 0,5694                                 | 0,5561   |
| 1475     | 59           | 0,9833     | 0,1218     | 0,0512              | 0,7252                        | 0,7319         | 0,5161                                 | 0,5121   |
| 1500     | 60           | 1,0000     | 0,1209     | 0,0503              | 0,7122                        | 0,7187         | 0,4976                                 | 0,4696   |
| 1525     | 61           | 1,0167     | 0,1200     | 0,0494              | 0,7003                        | 0,7063         | 0,4583                                 | 0,4305   |
| 1575     | 63           | 1,0500     | 0,1185     | 0,0479              | 0,6789                        | 0,6840         | 0,3935                                 | 0,3603   |
| 1600     | 64           | 1,0667     | 0,1179     | 0,0473              | 0,6700                        | 0,6744         | 0,3402                                 | 0,3313   |
| 1625     | 65           | 1,0833     | 0,1173     | 0,0467              | 0,6615                        | 0,6658         | 0,3263                                 | 0,3035   |
| 1650     | 66           | 1,1000     | 0,1168     | 0,0462              | 0,6541                        | 0,6578         | 0,2870                                 | 0,2790   |
| 1675     | 67           | 1,1167     | 0,1163     | 0,0457              | 0,6479                        | 0,6510         | 0,2361                                 | 0,2589   |
| 1700     | 68           | 1,1333     | 0,1159     | 0,0453              | 0,6423                        | 0,6451         | 0,2176                                 | 0,2403   |
| 1725     | 69           | 1,1500     | 0,1156     | 0,0450              | 0,6373                        | 0,6398         | 0,1921                                 | 0,2239   |
| 1750     | 70           | 1,1667     | 0,1153     | 0,0447              | 0,6327                        | 0,6350         | 0,1736                                 | 0,2091   |
| .        | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| .        | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| .        | .            | .          | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 3725     | 149          | 2,4833     | 0,0883     | 0,0177              | 0,2511                        | 0,2484         | -0,2060                                |  |
| 3750     | 150          | 2,5000     | 0,0887     | 0,0181              | 0,2562                        | 0,2537         | -0,1967                                |  |



Cuadro 35.  $V_2 = 1\text{mz/seg.}$  y  $T_1 = 40^\circ\text{C}$  con recirculación.

| Area bandeja = 0,11024 m <sup>2</sup> |              | Peso S.S.=0,0706 Kg |            |                     |                               |             |  |  |
|---------------------------------------|--------------|---------------------|------------|---------------------|-------------------------------|-------------|--|--|
| Nº Datos                              | Tiempo (min) | Tiempo (h)          | Peso en Kg | Humedad total en Kg | X kg H <sub>2</sub> O/kg s.s. | Valor Prom. | W Kg H <sub>2</sub> O/h.m <sup>2</sup> | W Predecido Kg H <sub>2</sub> O/h.m <sup>2</sup> |
| 25                                    | 1            | 0,0167              | 0,1868     | 0,1162              | 1,6453                        |             |  |  |
| 50                                    | 2            | 0,0333              | 0,1869     | 0,1163              | 1,6471                        | 1,6462      | -0,0694                                |  |
| 75                                    | 3            | 0,0500              | 0,1866     | 0,1160              | 1,6435                        | 1,6453      | 0,1389                                 |  |
| 100                                   | 4            | 0,0667              | 0,1864     | 0,1158              | 1,6399                        | 1,6417      | 0,1389                                 |  |
| 125                                   | 5            | 0,0833              | 0,1860     | 0,1154              | 1,6345                        | 1,6372      | 0,2083                                 |  |
| .                                     | .            | .                   | .          | .                   | .                             | .           | .                                      | .  |
| .                                     | .            | .                   | .          | .                   | .                             | .           | .                                      | .  |
| 2400                                  | 96           | 1,6000              | 0,1371     | 0,0665              | 0,9420                        | 0,9487      | 0,5138                                 | 0,5231   |
| 2425                                  | 97           | 1,6167              | 0,1362     | 0,0656              | 0,9288                        | 0,9354      | 0,5069                                 | 0,5231   |
| 2450                                  | 98           | 1,6333              | 0,1352     | 0,0646              | 0,9153                        | 0,9220      | 0,5207                                 | 0,5231   |
| 2475                                  | 99           | 1,6500              | 0,1343     | 0,0637              | 0,9016                        | 0,9084      | 0,5254                                 | 0,5231   |
| 2500                                  | 100          | 1,6667              | 0,1333     | 0,0627              | 0,8878                        | 0,8947      | 0,5277                                 | 0,5231   |
| 2525                                  | 101          | 1,6833              | 0,1323     | 0,0617              | 0,8739                        | 0,8809      | 0,5346                                 | 0,5231   |
| 2550                                  | 102          | 1,7000              | 0,1313     | 0,0607              | 0,8601                        | 0,8670      | 0,5300                                 | 0,5231   |
| 2575                                  | 103          | 1,7167              | 0,1303     | 0,0597              | 0,8462                        | 0,8532      | 0,5370                                 | 0,5231   |
| 2600                                  | 104          | 1,7333              | 0,1294     | 0,0588              | 0,8324                        | 0,8393      | 0,5300                                 | 0,5231   |
| 2625                                  | 105          | 1,7500              | 0,1284     | 0,0578              | 0,8186                        | 0,8255      | 0,5277                                 | 0,5231   |
| 2650                                  | 106          | 1,7667              | 0,1274     | 0,0568              | 0,8050                        | 0,8118      | 0,5231                                 | 0,5231   |
| 2675                                  | 107          | 1,7833              | 0,1265     | 0,0559              | 0,7915                        | 0,7983      | 0,5207                                 | 0,5231   |
| 2700                                  | 108          | 1,8000              | 0,1255     | 0,0549              | 0,7779                        | 0,7847      | 0,5231                                 | 0,5231   |
| 2725                                  | 109          | 1,8167              | 0,1246     | 0,0540              | 0,7646                        | 0,7712      | 0,5115                                 | 0,5158   |
| 2750                                  | 110          | 1,8333              | 0,1237     | 0,0531              | 0,7517                        | 0,7581      | 0,4953                                 | 0,5014   |
| 2775                                  | 111          | 1,8500              | 0,1228     | 0,0522              | 0,7391                        | 0,7454      | 0,4837                                 | 0,4874   |
| 2800                                  | 112          | 1,8667              | 0,1219     | 0,0513              | 0,7266                        | 0,7328      | 0,4791                                 | 0,4735   |
| 2825                                  | 113          | 1,8833              | 0,1210     | 0,0504              | 0,7144                        | 0,7205      | 0,4698                                 | 0,4599   |
| 2850                                  | 114          | 1,9000              | 0,1202     | 0,0496              | 0,7027                        | 0,7085      | 0,4490                                 | 0,4469   |
| 2875                                  | 115          | 1,9167              | 0,1194     | 0,0488              | 0,6913                        | 0,6970      | 0,4374                                 | 0,4342   |
| 2900                                  | 116          | 1,9333              | 0,1186     | 0,0480              | 0,6803                        | 0,6858      | 0,4212                                 | 0,4220   |
| 2925                                  | 117          | 1,9500              | 0,1179     | 0,0473              | 0,6697                        | 0,6750      | 0,4097                                 | 0,4101   |
| 2950                                  | 118          | 1,9667              | 0,1172     | 0,0466              | 0,6594                        | 0,6645      | 0,3958                                 | 0,3987   |
| 2975                                  | 119          | 1,9833              | 0,1164     | 0,0458              | 0,6492                        | 0,6543      | 0,3911                                 | 0,3873   |
| 3000                                  | 120          | 2,0000              | 0,1157     | 0,0451              | 0,6394                        | 0,6443      | 0,3773                                 | 0,3764   |
| 3025                                  | 121          | 2,0167              | 0,1151     | 0,0445              | 0,6299                        | 0,6347      | 0,3634                                 | 0,3659   |
| 3050                                  | 122          | 2,0333              | 0,1144     | 0,0438              | 0,6207                        | 0,6253      | 0,3541                                 | 0,3556   |
| 3075                                  | 123          | 2,0500              | 0,1138     | 0,0432              | 0,6118                        | 0,6163      | 0,3425                                 | 0,3457   |
| 3100                                  | 124          | 2,0667              | 0,1132     | 0,0426              | 0,6035                        | 0,6077      | 0,3171                                 | 0,3347   |
| 3125                                  | 125          | 2,0833              | 0,1127     | 0,0421              | 0,5957                        | 0,5996      | 0,3009                                 | 0,3112   |
| 3150                                  | 126          | 2,1000              | 0,1121     | 0,0415              | 0,5882                        | 0,5920      | 0,2893                                 | 0,2886   |
| 3600                                  | 144          | 2,4000              | 0,1071     | 0,0365              | 0,5171                        | 0,5180      | 0,0694                                 | 0,0753   |
| .                                     | .            | .                   | .          | .                   | .                             | .           | .                                      | .  |
| .                                     | .            | .                   | .          | .                   | .                             | .           | .                                      | .  |
| 3700                                  | 148          | 2,4667              | 0,1066     | 0,0360              | 0,5099                        | 0,5110      | 0,0810                                 |  |
| 3725                                  | 149          | 2,4833              | 0,1065     | 0,0359              | 0,5080                        | 0,5090      | 0,0764                                 |  |
| 3750                                  | 150          | 2,5000              | 0,1063     | 0,0357              | 0,5056                        | 0,5068      | 0,0926                                 |  |

Cuadro 36.  $V_2 = 1\text{m/seg.}$  y  $T_2 = 50^\circ\text{C}$  con recirculación.

| Area bandeja = 0,11024 m <sup>2</sup> |              | Peso S.S. = 0,0706 Kg |            |                     |                               |                |  |  |
|---------------------------------------|--------------|-----------------------|------------|---------------------|-------------------------------|----------------|--|--|
| Nº Dato s                             | Tiempo (min) | Tiempo (h)            | Peso en Kg | Humedad total en Kg | X kg H <sub>2</sub> O/kg s.s. | Valor Promedio | W Kg H <sub>2</sub> O/h.m <sup>2</sup> | W Predecido Kg H <sub>2</sub> O/h.m <sup>2</sup> |
| 25                                    | 1            | 0,0167                | 0,1927     | 0,1221              | 1,7288                        |                |  |  |
| 50                                    | 2            | 0,0333                | 0,1929     | 0,1223              | 1,7329                        | 1,7308         | -0,1574                                |  |
| 75                                    | 3            | 0,0500                | 0,1930     | 0,1224              | 1,7339                        | 1,7334         | -0,0393                                |  |
| 100                                   | 4            | 0,0667                | 0,1932     | 0,1226              | 1,7365                        | 1,7352         | -0,0995                                |  |
| 125                                   | 5            | 0,0833                | 0,1933     | 0,1227              | 1,7385                        | 1,7375         | -0,0764                                |  |
| 275                                   | .            | .                     | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 300                                   | .            | .                     | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 1125                                  | 45           | 0,7500                | 0,1679     | 0,0973              | 1,3780                        | 1,3860         | 0,6133                                 | 0,6133   |
| 1150                                  | 46           | 0,7667                | 0,1667     | 0,0961              | 1,3616                        | 1,3698         | 0,6295                                 | 0,6133   |
| 1175                                  | 47           | 0,7833                | 0,1656     | 0,0950              | 1,3457                        | 1,3536         | 0,6133                                 | 0,6133   |
| 1200                                  | 48           | 0,8000                | 0,1645     | 0,0939              | 1,3295                        | 1,3376         | 0,6226                                 | 0,6133   |
| 1225                                  | 49           | 0,8167                | 0,1633     | 0,0927              | 1,3133                        | 1,3214         | 0,6226                                 | 0,6133   |
| 1250                                  | 50           | 0,8333                | 0,1622     | 0,0916              | 1,2972                        | 1,3052         | 0,6156                                 | 0,6133   |
| 1275                                  | 51           | 0,8500                | 0,1611     | 0,0905              | 1,2816                        | 1,2894         | 0,5994                                 | 0,5914   |
| 1300                                  | 52           | 0,8667                | 0,1600     | 0,0894              | 1,2664                        | 1,2740         | 0,5856                                 | 0,5754   |
| 1325                                  | 53           | 0,8833                | 0,1590     | 0,0884              | 1,2515                        | 1,2590         | 0,5717                                 | 0,5598   |
| 1350                                  | 54           | 0,9000                | 0,1580     | 0,0874              | 1,2375                        | 1,2445         | 0,5370                                 | 0,5451   |
| 1375                                  | 55           | 0,9167                | 0,1570     | 0,0864              | 1,2239                        | 1,2307         | 0,5254                                 | 0,5308   |
| 1400                                  | 56           | 0,9333                | 0,1561     | 0,0855              | 1,2109                        | 1,2174         | 0,4999                                 | 0,5171   |
| 1425                                  | 57           | 0,9500                | 0,1552     | 0,0846              | 1,1980                        | 1,2044         | 0,4953                                 | 0,5036   |
| 1450                                  | 58           | 0,9667                | 0,1543     | 0,0837              | 1,1854                        | 1,1917         | 0,4814                                 | 0,4905   |
| 1475                                  | 59           | 0,9833                | 0,1534     | 0,0828              | 1,1729                        | 1,1792         | 0,4814                                 | 0,4773   |
| 1500                                  | 60           | 1,0000                | 0,1526     | 0,0820              | 1,1609                        | 1,1669         | 0,4629                                 | 0,4647   |
| 1525                                  | 61           | 1,0167                | 0,1517     | 0,0811              | 1,1492                        | 1,1550         | 0,4490                                 | 0,4524   |
| 1550                                  | 62           | 1,0333                | 0,1509     | 0,0803              | 1,1377                        | 1,1435         | 0,4397                                 | 0,4404   |
| 1575                                  | 63           | 1,0500                | 0,1501     | 0,0795              | 1,1264                        | 1,1321         | 0,4351                                 | 0,4285   |
| 1600                                  | 64           | 1,0667                | 0,1493     | 0,0787              | 1,1152                        | 1,1208         | 0,4305                                 | 0,4168   |
| 1625                                  | 65           | 1,0833                | 0,1486     | 0,0780              | 1,1044                        | 1,1098         | 0,4143                                 | 0,4221   |
| 1650                                  | 66           | 1,1000                | 0,1478     | 0,0772              | 1,0938                        | 1,0991         | 0,4097                                 | 0,4203   |
| 1675                                  | 67           | 1,1167                | 0,1471     | 0,0765              | 1,0830                        | 1,0884         | 0,4143                                 | 0,4186   |
| 1700                                  | 68           | 1,1333                | 0,1463     | 0,0757              | 1,0721                        | 1,0776         | 0,4166                                 | 0,4168   |
| 1725                                  | 69           | 1,1500                | 0,1455     | 0,0749              | 1,0611                        | 1,0666         | 0,4259                                 | 0,4150   |
| 1750                                  | 70           | 1,1667                | 0,1447     | 0,0741              | 1,0499                        | 1,0555         | 0,4282                                 | 0,4131   |
| 1775                                  | 71           | 1,1833                | 0,1440     | 0,0734              | 1,0390                        | 1,0444         | 0,4212                                 | 0,4113   |
| 1800                                  | 72           | 1,2000                | 0,1432     | 0,0726              | 1,0283                        | 1,0336         | 0,4097                                 | 0,4096   |
| 1825                                  | 73           | 1,2167                | 0,1424     | 0,0718              | 1,0177                        | 1,0230         | 0,4073                                 | 0,4078   |
| 1850                                  | 74           | 1,2333                | 0,1417     | 0,0711              | 1,0070                        | 1,0123         | 0,4120                                 | 0,4060   |
| 3100                                  | 124          | 2,0667                | 0,1090     | 0,0384              | 0,5437                        | 0,5478         | 0,3124                                 | 0,3298   |
| .                                     | .            | .                     | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| .                                     | .            | .                     | .          | .                   | .                             | .              | .                                      | .  |
| 3675                                  | 147          | 2,4500                | 0,0971     | 0,0265              | 0,3747                        | 0,3779         | 0,2523                                 | 0,3019   |
| 3700                                  | 148          | 2,4667                | 0,0966     | 0,0260              | 0,3677                        | 0,3712         | 0,2662                                 | 0,3008   |
| 3725                                  | 149          | 2,4833                | 0,0961     | 0,0255              | 0,3610                        | 0,3644         | 0,2592                                 | 0,2997   |
| 3750                                  | 150          | 2,5000                | 0,0956     | 0,0250              | 0,3542                        | 0,3576         | 0,2615                                 | 0,2985   |



ANEXO 11

FICHA DE EVALUACION DE ANALISIS SENSORIAL DE QUINUA SECA  
PRUEBA DE ESCALA HEDONICA

PRODUCTO: .....FECHA: .....

PANELISTA:..... PRUEBA:.....

INSTRUCCIONES: Usted recibirá muestras de quinua seca, evalúe el color, olor y textura; aplicando la siguiente escala y en el cuadro de la parte inferior coloque el puntaje que corresponde a cada muestra.

- Excelente..... 5
- Muy bueno..... 4
- Bueno..... 3
- Regular..... 2
- Malo..... 1

| MUESTRA | COLOR | OLOR | TEXTURA |
|---------|-------|------|---------|
| M1      |       |      |         |
| M2      |       |      |         |
| M3      |       |      |         |
| M4      |       |      |         |
| M5      |       |      |         |
| M6      |       |      |         |
| M7      |       |      |         |
| M8      |       |      |         |

OBSERVACIONES:

.....  
.....  
.....

ANEXO 12

FICHA DE EVALUACION DE ANALISIS SENSORIAL DE PLATANO DESHIDRATADO  
PRUEBA DE ESCALA HEDONICA

PRODUCTO: .....FECHA: .....

PANELISTA:..... PRUEBA:.....

INSTRUCCIONES: Usted recibirá muestras de plátano deshidratado, evalúe el color, olor, sabor y textura; aplicando la siguiente escala y en el cuadro de la parte inferior coloque el puntaje que corresponde a cada muestra.

- Excelente..... 5
- Muy bueno..... 4
- Bueno..... 3
- Regular..... 2
- Malo..... 1

| MUESTRA | COLOR | AROMA | SABOR | TEXTURA |
|---------|-------|-------|-------|---------|
| M1      |       |       |       |         |
| M2      |       |       |       |         |
| M3      |       |       |       |         |
| M4      |       |       |       |         |
| M5      |       |       |       |         |
| M6      |       |       |       |         |
| M7      |       |       |       |         |
| M8      |       |       |       |         |

OBSERVACIONES:

.....  
.....  
.....

ANEXO 13. Resultados de la calidad físico sensorial de quinua.

Cuadro 37. Resultados de calificación para análisis sensorial de quinua respecto al color.

| PANELISTA | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1         | 3  | 2  | 3  | 4  | 4  | 2  | 3  | 3  |
| 2         | 3  | 3  | 3  | 3  | 2  | 3  | 3  | 3  |
| 3         | 3  | 2  | 3  | 3  | 4  | 3  | 2  | 3  |
| 4         | 2  | 3  | 4  | 3  | 3  | 4  | 3  | 4  |
| 5         | 2  | 4  | 3  | 2  | 4  | 3  | 4  | 2  |
| 6         | 4  | 3  | 3  | 3  | 2  | 3  | 3  | 3  |
| 7         | 4  | 4  | 3  | 3  | 3  | 3  | 4  | 3  |
| 8         | 3  | 4  | 2  | 3  | 3  | 4  | 4  | 4  |
| 9         | 3  | 2  | 3  | 4  | 4  | 4  | 4  | 3  |
| 10        | 3  | 3  | 3  | 3  | 4  | 3  | 3  | 4  |

Cuadro 38. Análisis de varianza para el color de la quinua.

| F. de V.               | S.C. | G.L. | C.M.     | F.C. | Significancia |
|------------------------|------|------|----------|------|---------------|
| Entre muestras         | 4,2  | 7    | 0,6      | 1,39 | 0,2213        |
| Dentro de las muestras | 31,0 | 72   | 0,430556 |      |               |
| Total                  | 35,2 | 79   |          |      |               |

Cuadro 39. Resultados de calificación para análisis sensorial de quinua respecto al olor.

| PANELISTA | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1         | 2  | 2  | 3  | 3  | 2  | 2  | 3  | 3  |
| 2         | 1  | 2  | 2  | 2  | 2  | 3  | 3  | 4  |
| 3         | 3  | 2  | 2  | 2  | 2  | 3  | 2  | 2  |
| 4         | 2  | 3  | 3  | 3  | 1  | 2  | 2  | 3  |
| 5         | 2  | 3  | 2  | 2  | 3  | 2  | 2  | 2  |
| 6         | 1  | 2  | 2  | 1  | 2  | 2  | 1  | 2  |
| 7         | 2  | 2  | 1  | 2  | 3  | 1  | 2  | 3  |
| 8         | 2  | 3  | 3  | 1  | 2  | 2  | 2  | 3  |
| 9         | 2  | 3  | 2  | 2  | 2  | 2  | 3  | 2  |
| 10        | 3  | 3  | 3  | 2  | 3  | 2  | 2  | 2  |

Cuadro 40. Análisis de varianza para el olor de la quinua.

| F. de V.               | S.C.    | G.L. | C.M.     | F.C. | Significancia |
|------------------------|---------|------|----------|------|---------------|
| Entre muestras         | 3,3875  | 7    | 0,483929 | 1,20 | 0,3154        |
| Dentro de las muestras | 29,1    | 72   | 0,404167 |      |               |
| Total                  | 32,4875 | 79   |          |      |               |

Cuadro 41. Resultados de calificación para análisis sensorial de quinua respecto a la textura.

| PANELISTA | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1         | 3  | 2  | 1  | 3  | 4  | 3  | 3  | 3  |
| 2         | 3  | 2  | 1  | 2  | 2  | 3  | 3  | 4  |
| 3         | 3  | 3  | 4  | 2  | 3  | 2  | 4  | 3  |
| 4         | 4  | 4  | 4  | 2  | 4  | 3  | 3  | 2  |
| 5         | 3  | 3  | 5  | 2  | 3  | 2  | 4  | 4  |
| 6         | 3  | 2  | 2  | 2  | 3  | 3  | 3  | 4  |
| 7         | 3  | 3  | 2  | 2  | 4  | 4  | 3  | 3  |
| 8         | 2  | 3  | 3  | 3  | 3  | 3  | 4  | 3  |
| 9         | 2  | 2  | 2  | 3  | 4  | 4  | 4  | 3  |
| 10        | 3  | 2  | 2  | 3  | 3  | 2  | 3  | 3  |

Cuadro 42. Análisis de varianza para la textura de la quinua.

| F. de V.               | S.C.    | G.L. | C.M.     | F.C. | Significancia |
|------------------------|---------|------|----------|------|---------------|
| Entre muestras         | 9,2875  | 7    | 1,32679  | 2,32 | 0,0339        |
| Dentro de las muestras | 41,1    | 72   | 0,570833 |      |               |
| Total                  | 50,3875 | 79   |          |      |               |

DONDE:

|                |                          |                          |                    |
|----------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|
| M1= Muestra 1: | $V_1 = 0,5\text{m/seg.}$ | $T_1 = 40^\circ\text{C}$ | Sin Recirculación  |
| M2= Muestra 2: | $V_1 = 0,5\text{m/seg.}$ | $T_1 = 40^\circ\text{C}$ | Con Recirculación  |
| M3= Muestra 3: | $V_1 = 0,5\text{m/seg.}$ | $T_2 = 50^\circ\text{C}$ | Sin Recirculación  |
| M4= Muestra 4: | $V_1 = 0,5\text{m/seg.}$ | $T_2 = 50^\circ\text{C}$ | Con Recirculación  |
| M5= Muestra 5: | $V_2 = 1\text{m/seg.}$   | $T_1 = 40^\circ\text{C}$ | Sin Recirculación  |
| M6= Muestra 6: | $V_2 = 1\text{m/seg.}$   | $T_1 = 40^\circ\text{C}$ | Con Recirculación  |
| M7= Muestra 7: | $V_2 = 1\text{m/seg.}$   | $T_2 = 50^\circ\text{C}$ | Sin Recirculación. |
| M8= Muestra 8: | $V_2 = 1\text{m/seg.}$   | $T_2 = 50^\circ\text{C}$ | Con Recirculación  |

ANEXO 14. Resultados de la calidad físico sensorial de plátano.

Cuadro 43. Resultados de calificación para análisis sensorial del plátano respecto al color.

| PANELISTA | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1         | 5  | 2  | 2  | 1  | 5  | 4  | 4  | 4  |
| 2         | 2  | 2  | 3  | 2  | 3  | 4  | 4  | 3  |
| 3         | 3  | 2  | 3  | 2  | 4  | 3  | 5  | 3  |
| 4         | 2  | 4  | 4  | 3  | 4  | 3  | 4  | 2  |
| 5         | 3  | 1  | 3  | 1  | 3  | 2  | 4  | 4  |
| 6         | 4  | 2  | 4  | 3  | 4  | 2  | 4  | 4  |
| 7         | 3  | 3  | 5  | 3  | 4  | 3  | 4  | 3  |
| 8         | 5  | 3  | 4  | 1  | 3  | 4  | 3  | 3  |
| 9         | 2  | 4  | 4  | 1  | 5  | 3  | 4  | 4  |
| 10        | 3  | 3  | 3  | 2  | 4  | 3  | 4  | 3  |

Cuadro 44. Análisis de varianza para el color del plátano.

| F. de V.               | S.C.    | G.L. | C.M.     | F.C. | Significancia |
|------------------------|---------|------|----------|------|---------------|
| Entre muestras         | 32,8875 | 7    | 4,69821  | 6,86 | 0,0000        |
| Dentro de las muestras | 49,3    | 72   | 0,684722 |      |               |
| Total                  | 82,1875 | 79   |          |      |               |

Cuadro 45. Resultados de calificación para análisis sensorial del plátano respecto al aroma.

| PANELISTA | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1         | 4  | 2  | 4  | 3  | 4  | 4  | 4  | 3  |
| 2         | 4  | 3  | 4  | 3  | 4  | 4  | 5  | 3  |
| 3         | 2  | 3  | 4  | 4  | 4  | 3  | 4  | 4  |
| 4         | 3  | 4  | 2  | 4  | 3  | 3  | 3  | 4  |
| 5         | 3  | 4  | 4  | 4  | 4  | 2  | 3  | 4  |
| 6         | 4  | 3  | 2  | 3  | 4  | 4  | 4  | 4  |
| 7         | 4  | 3  | 5  | 2  | 2  | 3  | 4  | 2  |
| 8         | 4  | 4  | 4  | 3  | 3  | 4  | 4  | 4  |
| 9         | 3  | 4  | 4  | 4  | 5  | 3  | 2  | 3  |
| 10        | 3  | 4  | 3  | 4  | 4  | 5  | 5  | 5  |

Cuadro 46. Análisis de varianza para el aroma del plátano.

| F. de V.               | S.C. | G.L. | C.M.     | F.C. | Significancia |
|------------------------|------|------|----------|------|---------------|
| Entre muestras         | 1,6  | 7    | 0,228571 | 0,34 | 0,9321        |
| Dentro de las muestras | 48,2 | 72   | 0,669444 |      |               |
| Total                  | 49,8 | 79   |          |      |               |

Cuadro 47. Resultados de calificación para análisis sensorial del plátano respecto al sabor.

| PANELISTA | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1         | 3  | 4  | 5  | 4  | 4  | 3  | 4  | 4  |
| 2         | 4  | 4  | 3  | 4  | 4  | 5  | 4  | 4  |
| 3         | 4  | 3  | 3  | 4  | 4  | 2  | 4  | 4  |
| 4         | 4  | 4  | 3  | 3  | 4  | 4  | 4  | 4  |
| 5         | 3  | 5  | 4  | 4  | 3  | 4  | 4  | 3  |
| 6         | 4  | 3  | 2  | 5  | 5  | 3  | 4  | 2  |
| 7         | 4  | 3  | 3  | 3  | 3  | 4  | 5  | 4  |
| 8         | 4  | 2  | 5  | 4  | 4  | 3  | 4  | 4  |
| 9         | 3  | 4  | 4  | 3  | 5  | 5  | 4  | 5  |
| 10        | 4  | 4  | 4  | 3  | 3  | 3  | 4  | 3  |

Cuadro 48. Análisis de varianza para el sabor del plátano.

| F. de V.               | S.C.    | G.L. | C.M.     | F.C. | Significancia |
|------------------------|---------|------|----------|------|---------------|
| Entre muestras         | 2,1875  | 7    | 0,3125   | 0,54 | 0,7977        |
| Dentro de las muestras | 41,3    | 72   | 0,573611 |      |               |
| Total                  | 43,4875 | 79   |          |      |               |

Cuadro 49. Resultados de calificación para análisis sensorial del plátano respecto a la textura.

| PANELISTA | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1         | 2  | 2  | 3  | 2  | 4  | 4  | 4  | 3  |
| 2         | 3  | 2  | 3  | 1  | 2  | 4  | 4  | 3  |
| 3         | 3  | 3  | 2  | 2  | 3  | 3  | 4  | 3  |
| 4         | 4  | 2  | 5  | 1  | 2  | 3  | 3  | 5  |
| 5         | 4  | 3  | 2  | 3  | 3  | 2  | 4  | 2  |
| 6         | 4  | 3  | 4  | 2  | 4  | 3  | 2  | 2  |
| 7         | 2  | 4  | 4  | 3  | 4  | 3  | 2  | 4  |
| 8         | 2  | 2  | 3  | 1  | 5  | 3  | 4  | 4  |
| 9         | 3  | 2  | 3  | 4  | 3  | 4  | 4  | 3  |
| 10        | 3  | 3  | 3  | 3  | 4  | 4  | 3  | 3  |

Cuadro 50. Análisis de varianza para la textura del plátano.

| F. de V.               | S.C.    | G.L. | C.M.     | F.C. | Significancia |
|------------------------|---------|------|----------|------|---------------|
| Entre muestras         | 12,7875 | 7    | 1,82679  | 2,43 | 0,0271        |
| Dentro de las muestras | 54,1    | 72   | 0,751389 |      |               |
| Total                  | 66,8875 | 79   |          |      |               |

DONDE:

- M1= Muestra 1:  $V_1 = 0,5\text{m/seg.}$   $T_1 = 40^\circ\text{C}$  Sin Recirculación
- M2= Muestra 2:  $V_1 = 0,5\text{m/seg.}$   $T_1 = 40^\circ\text{C}$  Con Recirculación
- M3= Muestra 3:  $V_1 = 0,5\text{m/seg.}$   $T_2 = 50^\circ\text{C}$  Sin Recirculación
- M4= Muestra 4:  $V_1 = 0,5\text{m/seg.}$   $T_2 = 50^\circ\text{C}$  Con Recirculación
- M5= Muestra 5:  $V_2 = 1\text{m/seg.}$   $T_1 = 40^\circ\text{C}$  Sin Recirculación
- M6= Muestra 6:  $V_2 = 1\text{m/seg.}$   $T_1 = 40^\circ\text{C}$  Con Recirculación
- M7= Muestra 7:  $V_2 = 1\text{m/seg.}$   $T_2 = 50^\circ\text{C}$  Sin Recirculación
- M8= Muestra 8:  $V_2 = 1\text{m/seg.}$   $T_2 = 50^\circ\text{C}$  Con Recirculación

## ANEXO 15

Imagen 1. Cámara de secado

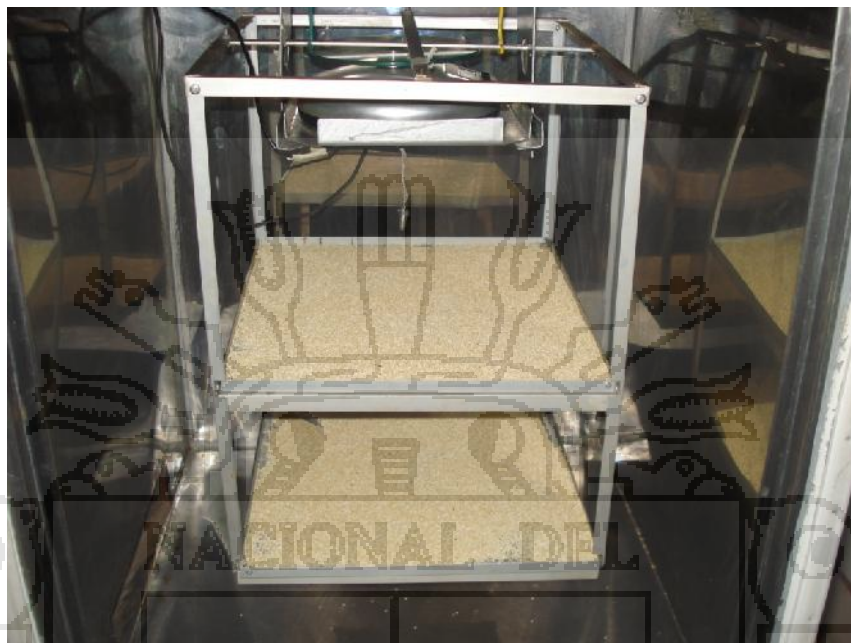


Imagen 2. Calentador de aire



Imagen 3. Resistencia de calor





Imagen 4. Ventilador

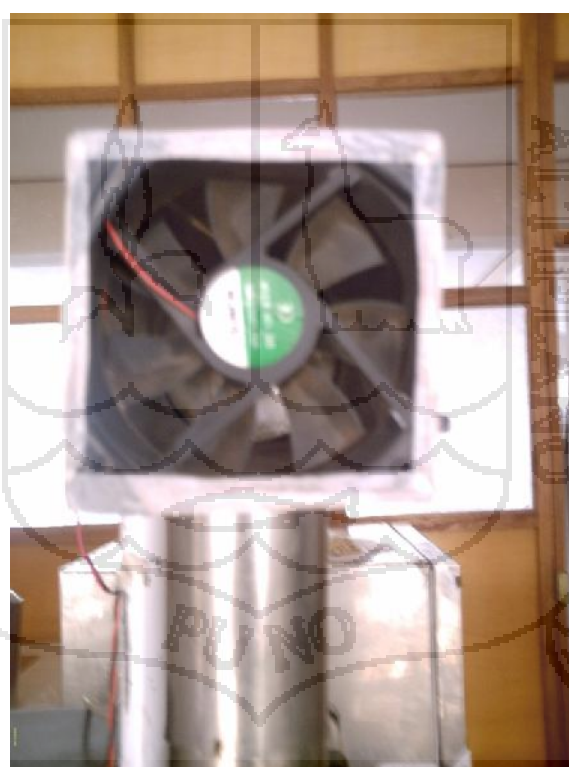


Imagen 5. Ductos de circulación de aire.



Imagen 6. Tablero de control del equipo implementado

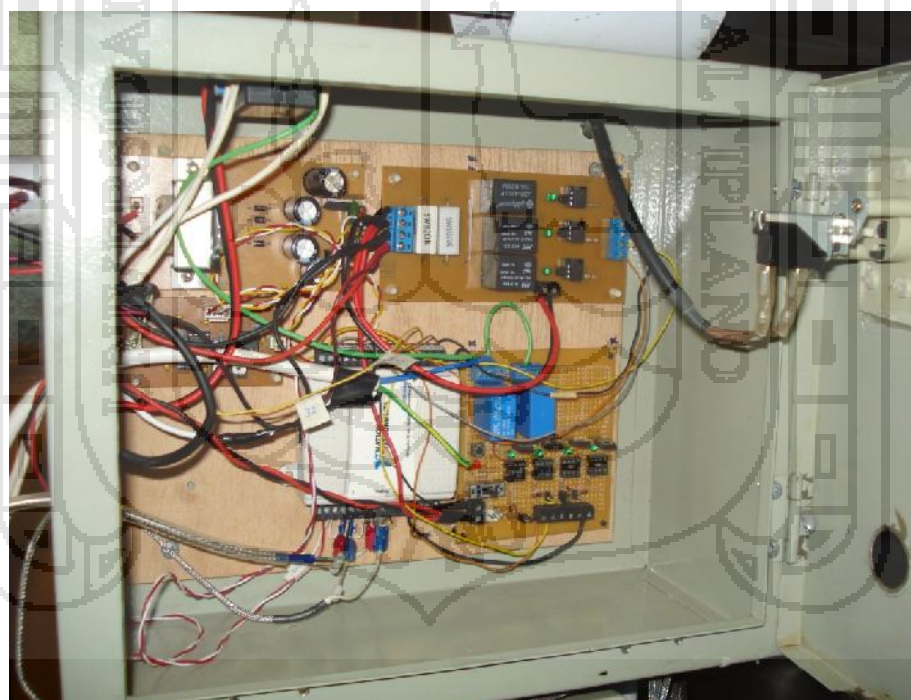


Imagen 7. Tarjeta de adquisición de datos NI-USB6008



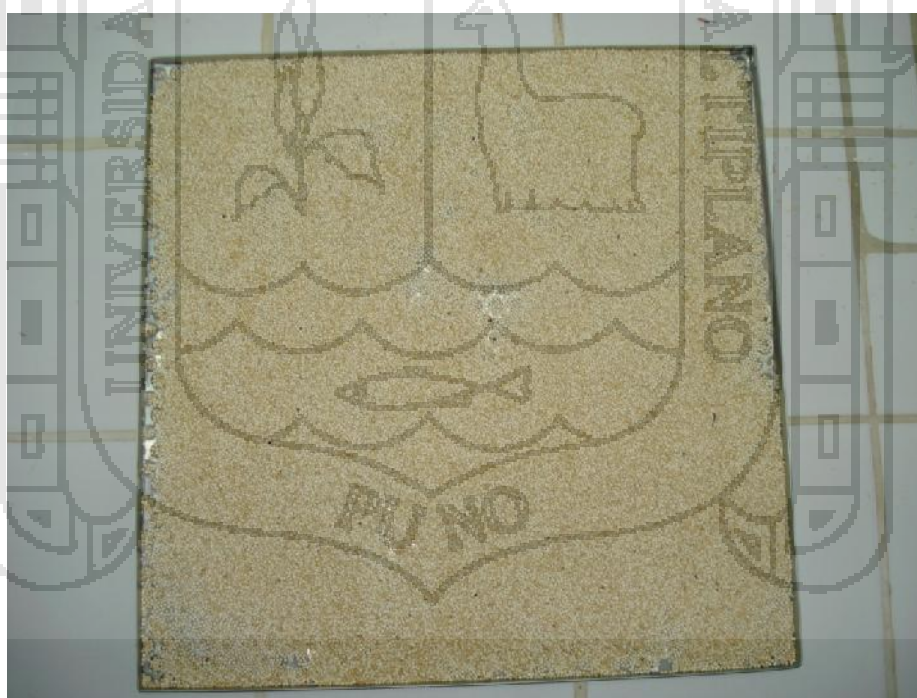
Imagen 8. Sensores de temperatura tipo J (termocuplas )



Imagen 9. Bandeja con muestras de plátano deshidratado.



Imagen 10. Bandeja con muestras de quinua seca.

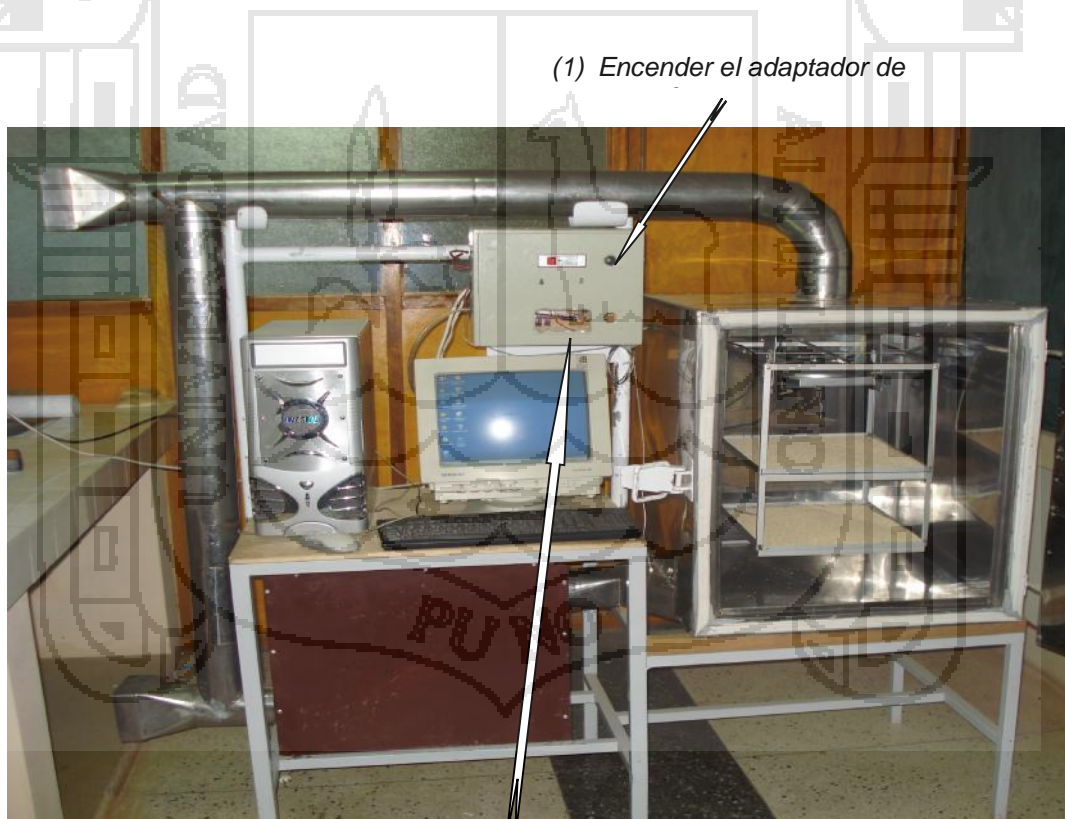


## MANUAL DEL FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO DE SECADO IMPLEMENTADO CON CONTROL ADAPTIVO MEDIANTE EL USO DEL SOFTWARE labVIEW VERSION 8.2

El presente manual da a conocer el funcionamiento del programa de secado de alimentos, es un sistema que se utiliza en el área de alimentos para realizar experimentos de secado bajo ciertas condiciones de temperatura y humedad, en cereales, frutas, verduras, carnes, etc. De tal forma que se pueda obtener mediciones importantes para el interesado como por ejemplo: peso del alimento antes y después del secado, tiempo de secado, comportamiento de la temperatura, velocidad de flujo de aire y humedad, que para poder realizar dichas mediciones será indispensable proveer al sistema de sensores para todas las variables que se deseen medir y controlar.

Frente a este panorama, surge la implementación de control adaptivo como una solución que va permitir llevar a la producción a estándares de calidad mucho mejores.

Los pasos a seguir son los siguientes:



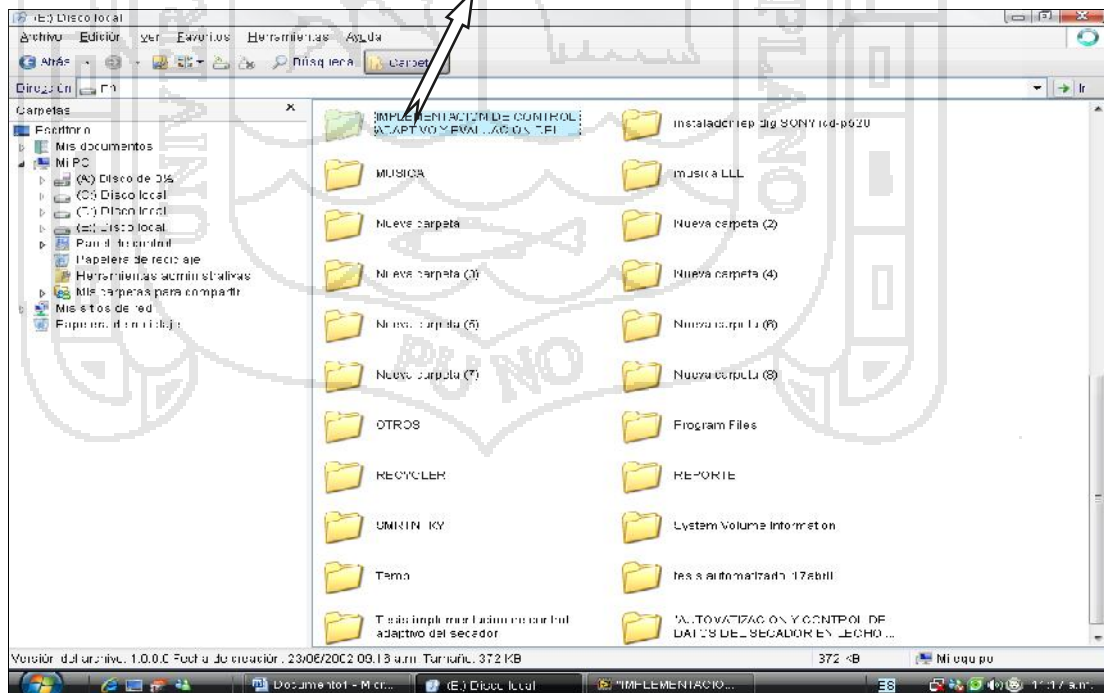
(1) Encender el adaptador de

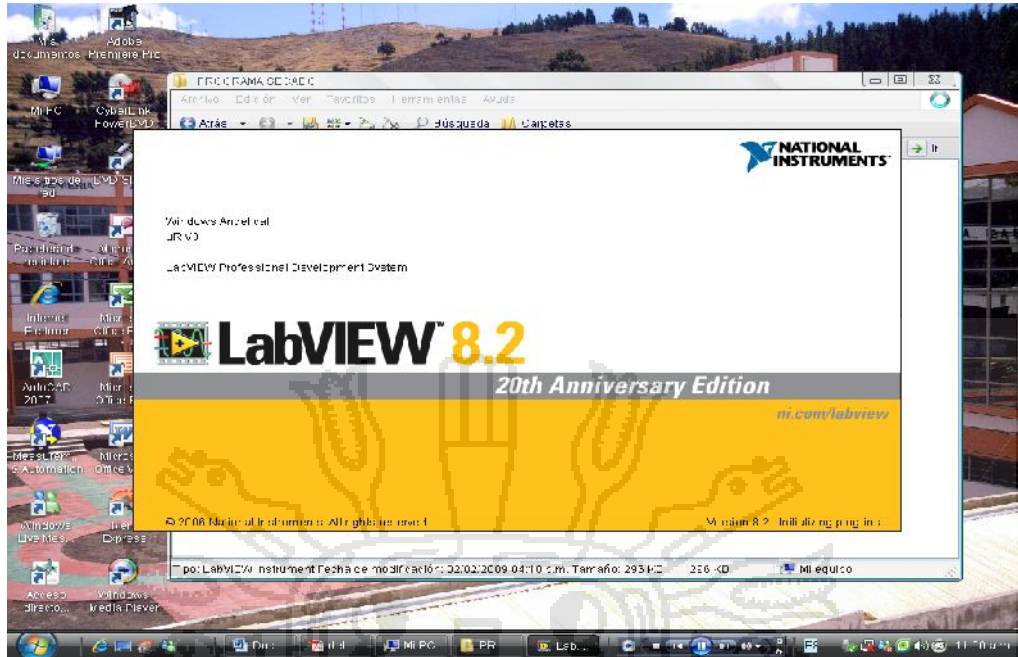
(2) Encender los dispositivos del motor de ventilación



*Ir al inicio luego*

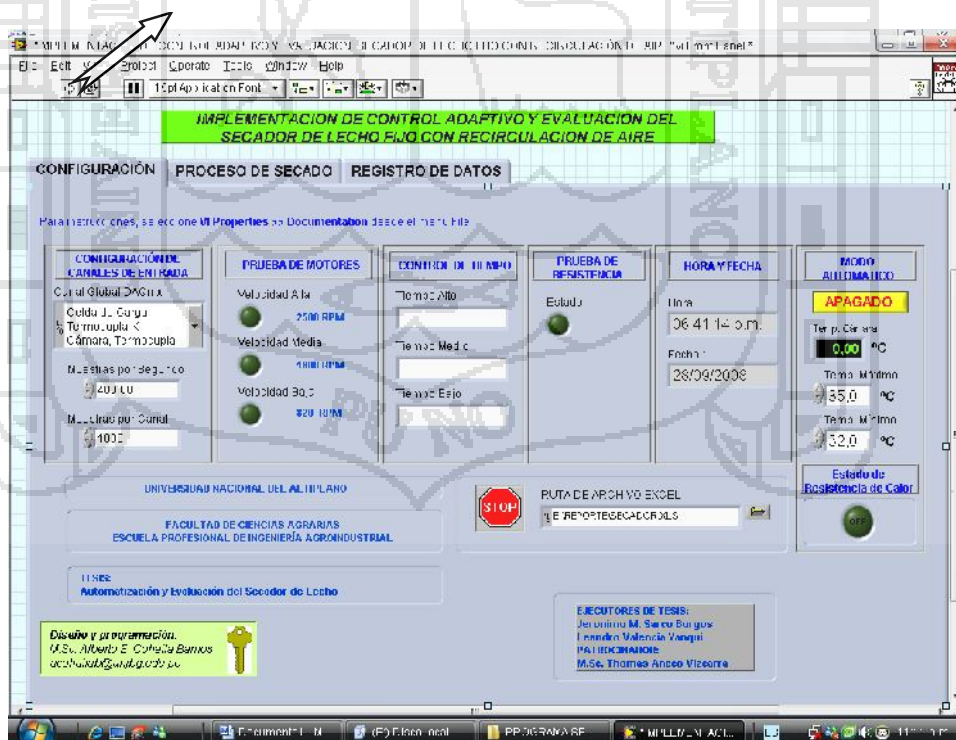
*En la unidad E abrir la carpeta IMPLEMENTACION DEL CONTROL ADAPTIVO*





Ahora se encontrará en el ambiente del programa de secado como se muestra a continuación:

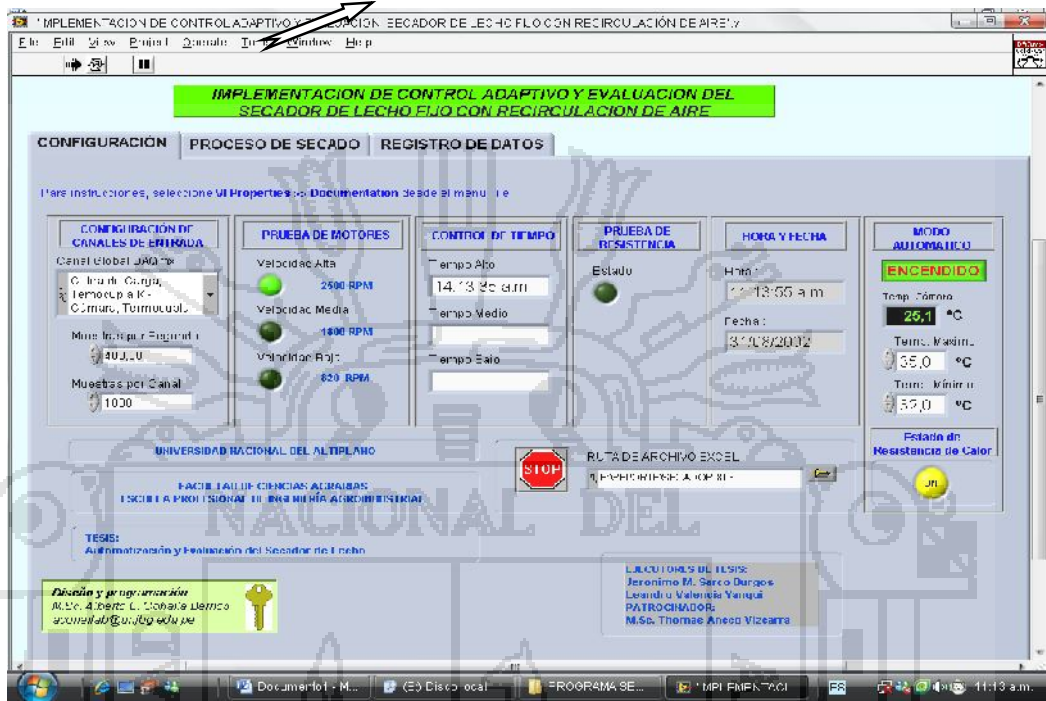
*Hacer click en ejecutar para empezar a correr el programa*



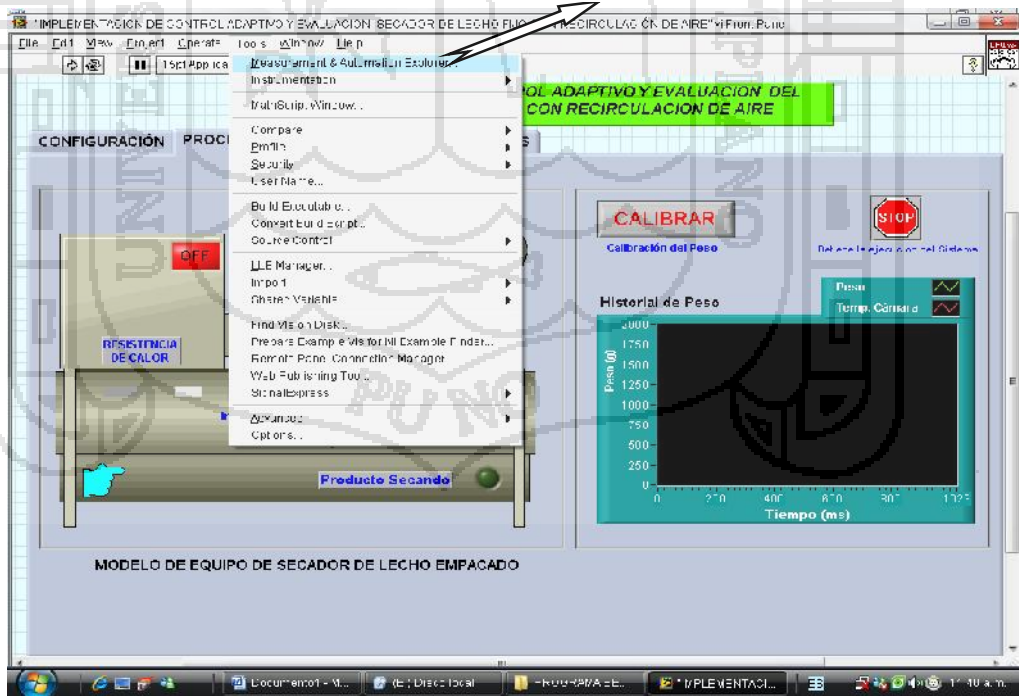
CALIBRACION DE TERMOCUPLAS Y SENSOR DE PESO

Antes de empezar a correr el programa es necesario calibrar las termocuplas y el sensor de peso para lo cual se procede de la siguiente manera:

Primero hacer click en tools



Click

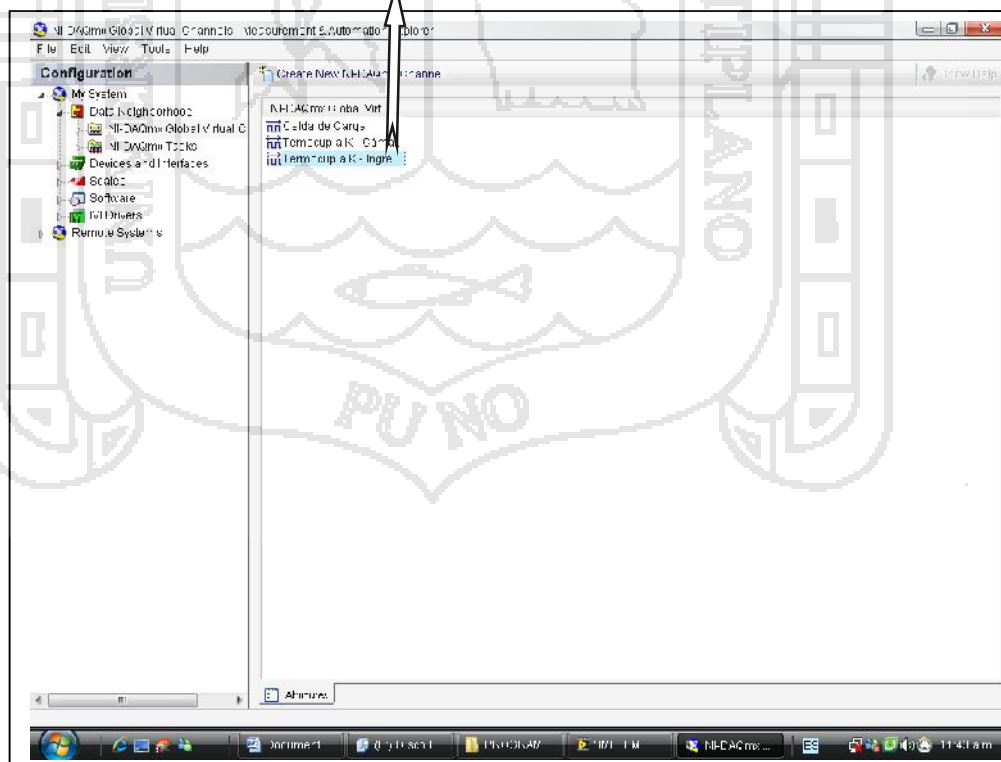




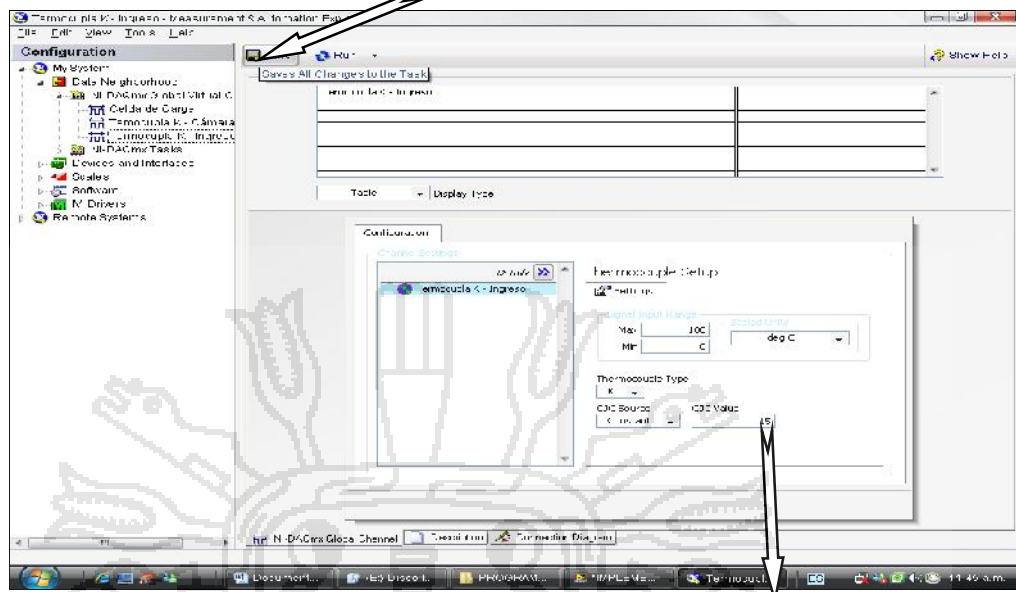
Click



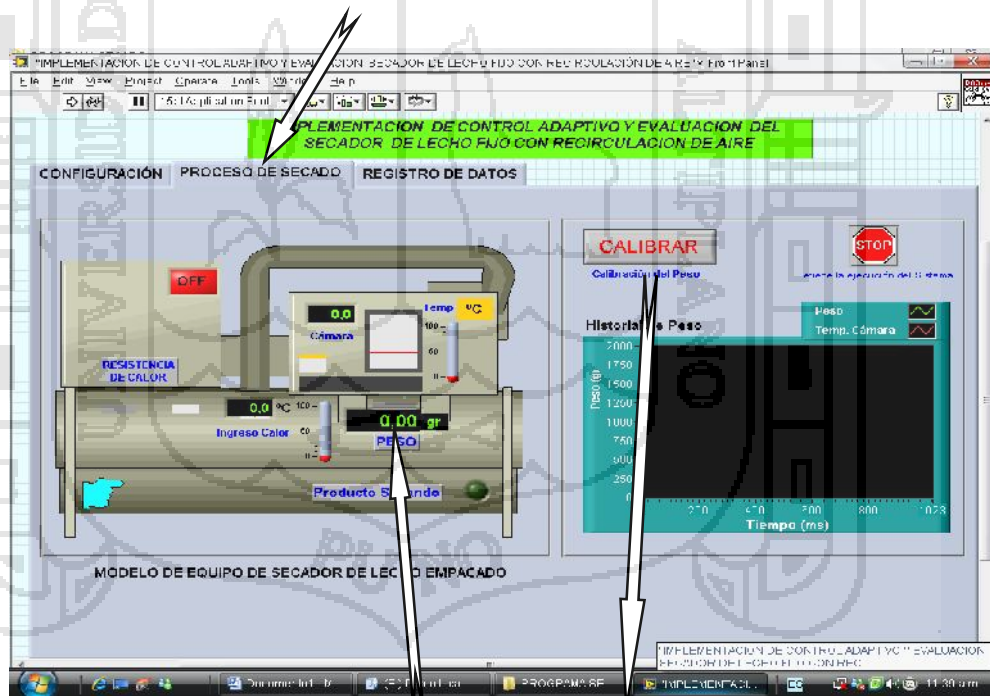
Seleccionar la termocupla a calibrar (ingreso o cámara)



(2) Una vez calibrado guardar



Para calibrar el sensor de peso se procede de la siguiente manera:  
 (1) Corregir la temperatura según la referencia o testigo  
 programa de secado/proceso de secado

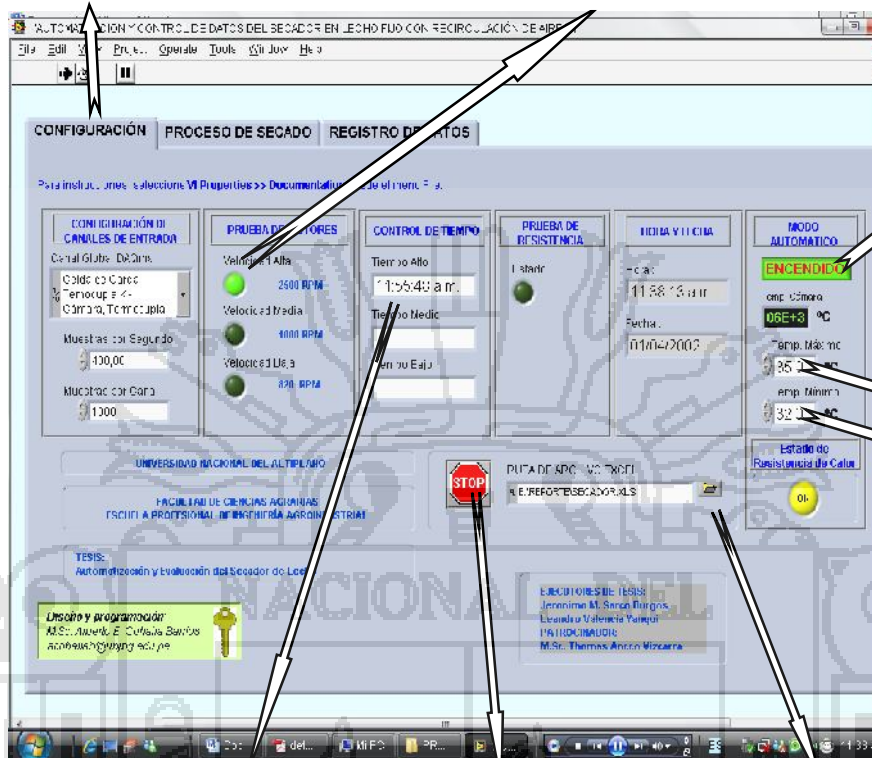


Hacer click cuantas veces sea necesario hasta aproximarse al valor cero y reiniciar el programa de secado.

Detalles de operación del programa LabVIEW

Esta ventana nos permite configurar el tiempo, temperatura y velocidad del flujo de aire

Los botones son para seleccionar la velocidad de aire de 1m/s, 0.5m/s y 0.25m/s



Hacer click una vez programado la temperatura deseada

Programar las temperaturas max y min

Tiempo programado para detener el

Al pulsar se detiene el programa de secado

Acceso directo al archivo Excel de datos corridos

MONITOREO EN TIEMPO REAL DEL SECADO DEL PRODUCTO

Proceso de secado en tiempo real

Visualiza temperatura dentro

Para detener o interrumpir el programa

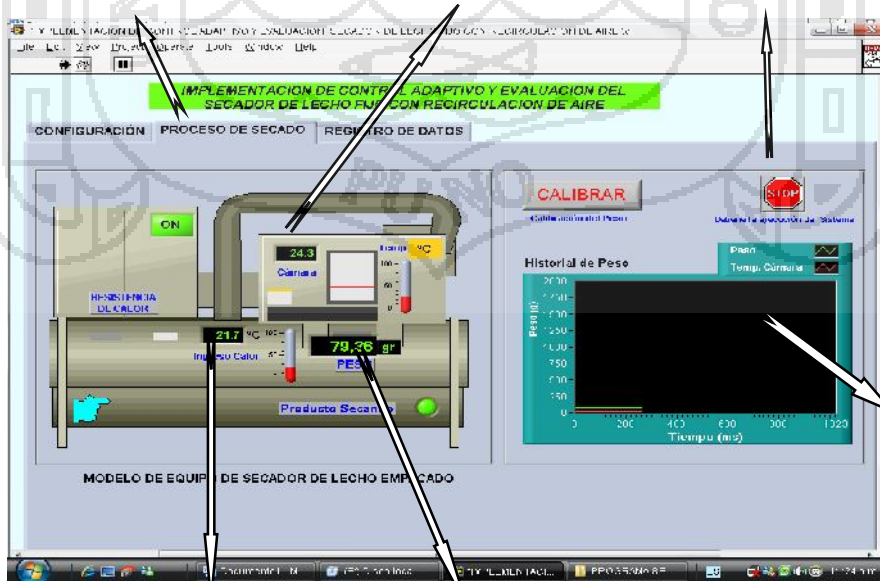
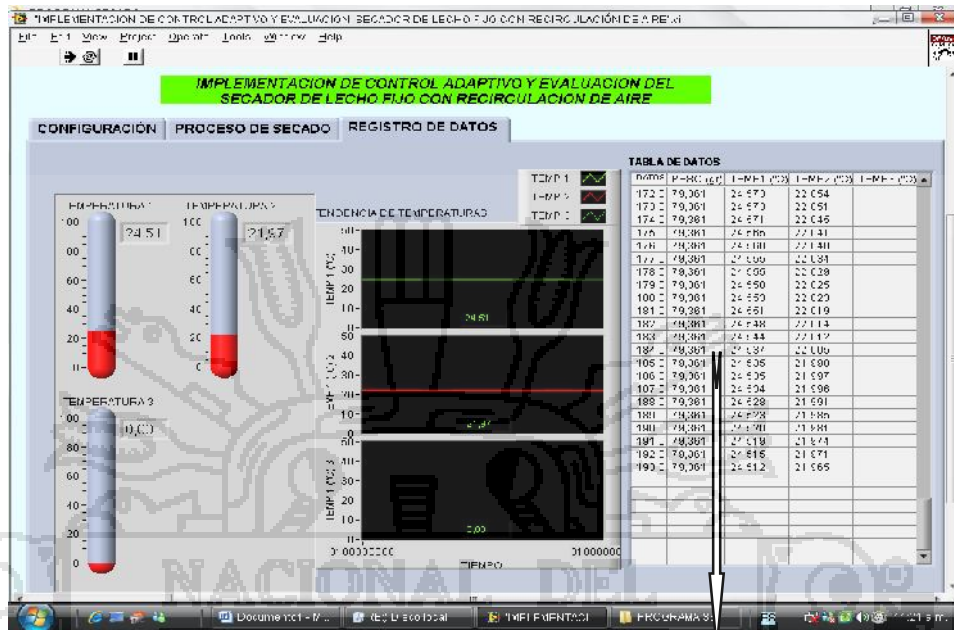


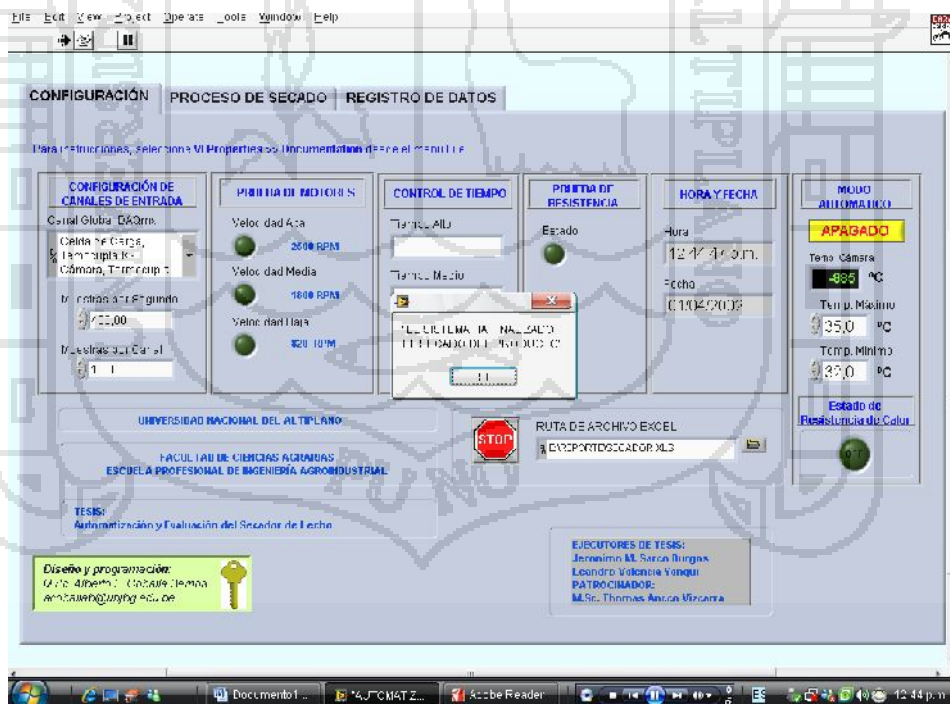
Grafico de registro de peso y temperatura

Visualiza la temperatura del ingreso de la camara

Visualiza el registro de perdida peso



Una vez terminado la corrida del programa *Registro de temperaturas y peso en tiempo real*



Los datos obtenidos se guardan automáticamente en la unidad E en la carpeta REPORTE, para posterior análisis y gráficos es necesario cambiar de nombre, para así identificar el secado del alimento.

