

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
"TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS"**



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**INFLUENCIA DE LA CINÉTICA DE SECADO EN LAS CARACTERÍSTICAS  
FISICOQUÍMICAS Y SENSORIALES DE UN ADITIVO ALIMENTARIO EN  
POLVO; OBTENIDO A PARTIR DE *Cúrcuma longa* "AZAFRÁN" EN ESTADO  
FRESCO Y COCIDO; PROVENIENTE DE LA PROVINCIA DE UTCUBAMBA,  
REGIÓN AMAZONAS.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**AUTOR : Br. VICTOR ERINSON CARRANZA CLAVO  
ASESOR : Ing. SEGUNDO VÍCTOR OLIVARES MUÑOZ**



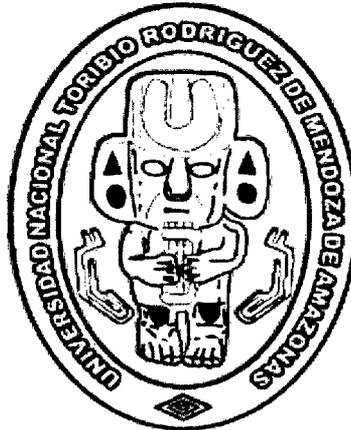
**CHACHAPOYAS - PERÚ**

**2014**

**27 NOV 2015**

**UNIVERSIDAD NACIONAL**

**TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**INFLUENCIA DE LA CINÉTICA DE SECADO EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y SENSORIALES DE UN ADITIVO ALIMENTARIO EN POLVO; OBTENIDO A PARTIR DE *Cúrcuma longa* "AZAFRÁN" EN ESTADO FRESCO Y COCIDO; PROVENIENTE DE LA PROVINCIA DE UTCUBAMBA, REGIÓN AMAZONAS**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO**

**AGROINDUSTRIAL**

**AUTOR : Br. VICTOR ERINSON CARRANZA CLAVO**

**ASESOR : Ing. SEGUNDO VÍCTOR OLIVARES MUÑOZ**



**CHACHAPOYAS- PERÚ**

**2014**

**27 NOV 2015**

## *DEDICATORIA*

Dedico este trabajo a mis padres y hermanos, por el ejemplo de amor y superación que siempre me han brindado; a todos mis amigos que con su aliento moral me ayudaron en momentos difíciles de mi formación profesional

**VICTOR CARRANZA**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por darme la vida y las fortalezas que me han permitido cumplir las metas.

A mis padres por todo el esfuerzo y amor para ser el sustento moral y económico de mi profesionalización.

A cada uno de los profesores de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, que contribuyeron a mi formación profesional durante cinco años de convivencia académica.

Al asesor de esta tesis por su orientación y espíritu de colaboración para la finalización de este trabajo.

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL  
TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**

Ph.D. JORGE LUIS MAICELO QUINTANA

**RECTOR**

Dr. OSCAR ANDRES GAMARRA TORRES

**VICERRECTOR ACADÉMICO**

Dr. MARIA NELLY LUJAN ESPINOZA

**VICERRECTOR DE INVESTIGACION**

Ing. GUILLERMO IDROGO VASQUEZ

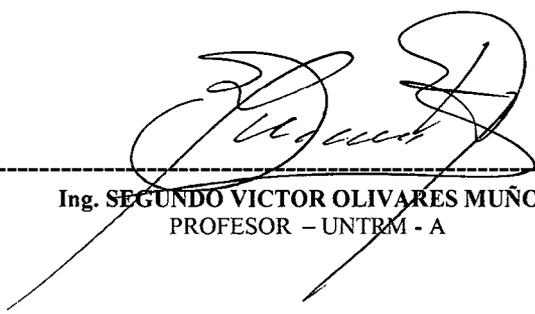
**DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS AGRARIAS**

## VISTO BUENO

El profesor de la UNTRM-A que suscribe, hace constar que ha asesorado la tesis titulada **“INFLUENCIA DE LA CINÉTICA DESECADO EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y SENSORIALES DE UN ADITIVO ALIMENTARIO EN POLVO; OBTENIDO A PARTIR DE *Cúrcuma longa* “AZAFRÁN” EN ESTADO FRESCO Y COCIDO; PROVENIENTE DE LA PROVINCIA DE UTCUBAMBA, REGIÓN AMAZONAS”**, del bachiller en Ingeniería Agroindustrial VICTOR ERINSON CARRANZA CLAVO.

Asimismo el que suscribe da **VISTO BUENO**, para que la tesis mencionada sea presentada al jurado evaluador, manifestando su voluntad de apoyar al tesista en el levantamiento de observaciones y en el acto de sustentación de tesis.

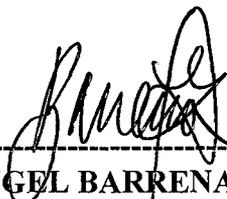
**Chachapoyas, Setiembre de 2014**



---

Ing. SEGUNDO VICTOR OLIVARES MUÑOZ  
PROFESOR – UNTRM - A

**JURADO DE TESIS**



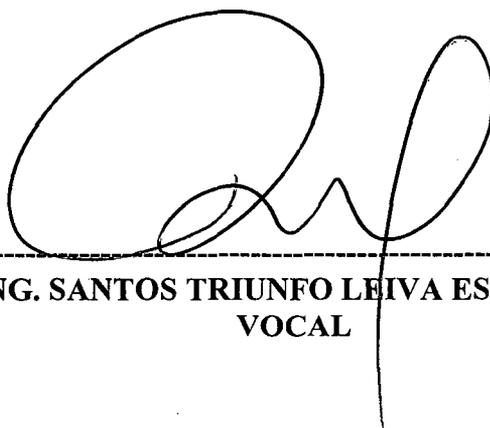
---

**Dr. MIGUEL ANGEL BARRENA GURBILLÓN  
PRESIDENTE**



---

**ING. Ms. EFRAÍN MANUELITO CASTRO ALAYO  
SECRETARIO**



---

**ING. SANTOS TRIUNFO LEIVA ESPINOZA  
VOCAL**



# UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS

FACULTAD DE: INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS

## ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Chachapoyas, el día 19 de FEBRERO del año 2015, siendo las 03:30 horas, se reunieron los integrantes del Jurado conformado por:

Presidente: Dr. MIGUEL ANGEL BARRENA GORBILLÓN

Secretario: Ing. Ms. EFRAIN MANUELITO CASTRO ALAYO

Vocal: Ing. SANTOS TRIUNFO LEIVA ESPINOZA

para evaluar la sustentación del informe de Tesis presentando por el(ía) bachiller, don(ña) VICTOR ERINSON CARRANZA CLAYO

titulado "INFLUENCIA DE LA CINETICA DE SECADO EN LAS CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS Y SENSORIALES DE UN ADITIVO ALIMENTARIO EN POLVO, OBTENIDO A PARTIR DE CUCUMBER LONGA "AZAFRAN" EN ESTADO FRESCO Y COCIDO, PROVENIENTE DE LA PROVINCIA DE UTCURAMBA, REGION AMAZONAS"

Después de la Sustentación respectiva el Jurado acuerda la **APROBACIÓN (X)**, **DESAPROBACIÓN ( )** por mayoría ( ) por unanimidad (X), en consecuencia, el (la) aspirante puede proseguir con el trámite subsiguiente de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos de la UNTRM-A.

Siendo las 04:30 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación del informe de Tesis.

SECRETARIO

PRESIDENTE

VOCAL

Form 6-T

## INDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIAS .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS .....	iv
VISTO BUENO DEL ASESOR.....	v
JURADO EVALUADOR.....	vi
ACTA DE SUSTENTACION .....	vii
INDICE .....	viii
RESUMEN .....	xix
ABSTRACT.....	xx
I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. El Azafrán ( <i>Curcuma longa</i> ) .....	2
1.2. Valor nutricional del Azafrán por cada 100 g .....	3
1.3. El Azafrán como aditivo alimentario: .....	5
1.4. Generalidades del secado.....	5
1.4.1. Secado: .....	5
1.4.2. Contenido de humedad en base seca.....	6
1.4.3. Contenido de humedad de equilibrio (Y <sub>eq</sub> ).....	6
1.4.4. Contenido crítico de humedad (Y <sub>c</sub> ).....	7
1.4.5. Contenido de humedad libre (Y <sub>l</sub> ) o humedad residual (Y <sub>r</sub> ) .....	7
1.4.6. Periodo de velocidad constante.....	7
1.4.7. Periodo de velocidad decreciente .....	7
1.5. Secador de bandejas.....	7
1.6. Secador de bandejas del laboratorio de Ingeniería de la UNTRM-A.....	8

1.7.	Clasificación de los productos en polvo de acuerdo al tamaño, forma y manejo de las partículas.....	9
1.8.	Relación entre la cantidad de agua de un sistema y su actividad termodinámica .....	10
II.	MATERIAL Y MÉTODO .....	11
2.1.	MATERIA PRIMA .....	11
2.2.	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL .....	12
2.2.1.	Secado de azafrán y obtención del aditivo alimentario en polvo .....	12
2.2.2.	Análisis del aditivo alimentario en polvo; a partir de <i>Cúrcuma longa</i> “azafrán” .....	14
	a) Análisis organoléptico: .....	14
	b) Análisis fisicoquímico: .....	14
	c) Análisis microbiológico: .....	15
2.2.3.	Análisis de datos .....	17
III.	RESULTADO .....	20
3.1.	Características de los rizomas de Azafrán .....	20
3.2.	Balance de materia para la obtención de Azafrán en polvo .....	21
3.3.	Cinética de secado de rizomas de Azafrán .....	22
3.4.	Propiedades fisicoquímicas .....	25
3.4.1.	Rendimiento de los rizomas de Azafrán para la obtención de harina ..	25
3.4.2.	Humedad .....	26
3.4.3.	pH del Azafrán deshidratado .....	27
3.4.4.	Acidez titulable del Azafrán deshidratado .....	27
3.4.5.	Ceniza .....	28
3.5.	Propiedades Organolépticas .....	28

3.5.1. Sabor .....	28
3.5.2. Color .....	29
3.5.3. Olor .....	29
3.5.4. Evaluación microbiológica de los mejores tratamientos expuestos al medio ambiente.....	30
IV. DISCUSION .....	31
V. CONCLUSION .....	35
VI. RECOMENDACION.....	36
VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA .....	37
ANEXOS .....	40

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Diagrama de flujo del proceso para la obtención de un aditivo alimentario en polvo; a partir de <i>Cúrcuma longa</i> “Azafrán”.....	13
<b>Figura 2.</b> Humedad residual en función del tiempo ( $t = 60\text{min.}$ , $T = 55^\circ\text{C}$ $V_1=2.5\text{ m/s}$ , $V_2= 3\text{ m/s}$ y $V_3= 3.5\text{ m/s}$ ).....	23
<b>Figura 3.</b> Variación de la humedad respecto al tiempo en función de la humedad residual ( $t = 60\text{min}$ , $T = 55^\circ\text{C}$ $V_1=2.5\text{ m/s}$ , $V_2= 3\text{ m/s}$ y $V_3= 3.5\text{ m/s}$ ).....	24
<b>Figura 4.</b> Valores promedio del rendimiento de los rizomas de Azafrán de los 27 tratamientos.....	25
<b>Figura 5.</b> Valores de la humedad inicial en base seca de las muestras .....	26
<b>Figura 6.</b> Humedad en porcentaje de cada una de las muestras .....	26
<b>Figura 7.</b> Valores promedio de pH del Azafrán deshidratado .....	27
<b>Figura 8.</b> Valores promedio de la acidez del Azafrán deshidratado .....	27
<b>Figura 9.</b> Valores promedio del porcentaje de ceniza del Azafrán deshidratado .....	28
<b>Figura 10.</b> Valores promedio de la evaluación organoléptica del sabor del azafrán deshidratado usado como aditivo en sopa de pollo.....	28
<b>Figura 11.</b> Valores promedio de la evaluación organoléptica del color del azafrán deshidratado usado como aditivo en sopa de pollo.....	29
<b>Figura 12.</b> Valores promedio de la evaluación organoléptica del olor del azafrán deshidratado usado como aditivo en sopa de pollo.....	29
<b>Figura 13.</b> Humedad residual en función del tiempo ( $t = 0\text{ min.}$ , $T = 50^\circ\text{C}$ $V_1=2.5\text{ m/s}$ , $V_2= 3\text{ m/s}$ y $V_3= 3.5\text{ m/s}$ ).....	46
<b>Figura 14.</b> Variación de la humedad respecto al tiempo en función de la humedad residual ( $t = 0\text{min}$ , $T = 50^\circ\text{C}$ $V_1=2.5\text{ m/s}$ , $V_2= 3\text{ m/s}$ y $V_3= 3.5\text{ m/s}$ ).....	46

<b>Figura 15.</b> Humedad residual en función del tiempo ( $t = 0$ min., $T = 55^{\circ}\text{C}$ $V_1=2.5$ m/s, $V_2= 3$ m/s y $V_3= 3.5$ m/s).....	50
<b>Figura 16.</b> Variación de la humedad respecto al tiempo en función de la humedad residual ( $t = 0$ min., $T = 55^{\circ}\text{C}$ $V_1=2.5$ m/s, $V_2= 3$ m/s y $V_3= 3.5$ m/s).....	50
<b>Figura 17.</b> Humedad residual en función del tiempo ( $t = 0$ min., $T = 60^{\circ}\text{C}$ $V_1=2.5$ m/s, $V_2= 3$ m/s y $V_3= 3.5$ m/s).....	54
<b>Figura 18.</b> Variación de la humedad respecto al tiempo en función de la humedad residual ( $t = 0$ min., $T = 60^{\circ}\text{C}$ $V_1=2.5$ m/s, $V_2= 3$ m/s y $V_3= 3.5$ m/s).....	54
<b>Figura 19.</b> Humedad residual en función del tiempo ( $t = 30$ min., $T = 50^{\circ}\text{C}$ $V_1=2.5$ m/s, $V_2= 3$ m/s y $V_3= 3.5$ m/s).....	58
<b>Figura 20.</b> Variación de la humedad respecto al tiempo en función de la humedad residual ( $t = 30$ min., $T = 50^{\circ}\text{C}$ $V_1=2.5$ m/s, $V_2= 3$ m/s y $V_3= 3.5$ m/s).....	58
<b>Figura 21.</b> Humedad residual en función del tiempo ( $t = 30$ min., $T = 55^{\circ}\text{C}$ $V_1=2.5$ m/s, $V_2= 3$ m/s y $V_3= 3.5$ m/s).....	62
<b>Figura 22.</b> Variación de la humedad respecto al tiempo en función de la humedad residual ( $t = 30$ min., $T = 55^{\circ}\text{C}$ $V_1=2.5$ m/s, $V_2= 3$ m/s y $V_3= 3.5$ m/s).....	62
<b>Figura 23.</b> Humedad residual en función del tiempo ( $t = 30$ min., $T = 60^{\circ}\text{C}$ $V_1=2.5$ m/s, $V_2= 3$ m/s y $V_3= 3.5$ m/s).....	66
<b>Figura 24.</b> Variación de la humedad respecto al tiempo en función de la humedad residual ( $t = 30$ min., $T = 60^{\circ}\text{C}$ $V_1=2.5$ m/s, $V_2= 3$ m/s y $V_3= 3.5$ m/s).....	66
<b>Figura 25.</b> Humedad residual en función del tiempo ( $t = 60$ min., $T = 50^{\circ}\text{C}$ $V_1=2.5$ m/s, $V_2= 3$ m/s y $V_3= 3.5$ m/s).....	70
<b>Figura 26.</b> Variación de la humedad respecto al tiempo en función de la humedad residual ( $t = 60$ min., $T = 50^{\circ}\text{C}$ $V_1=2.5$ m/s, $V_2= 3$ m/s y $V_3= 3.5$ m/s).....	70

**Figura 27.** Humedad residual en función del tiempo ( $t = 60 \text{ min.}$ ,  $T = 55^\circ\text{C}$   $V_1=2.5 \text{ m/s}$ ,  
 $V_2= 3 \text{ m/s}$  y  $V_3= 3.5 \text{ m/s}$ )..... 74

**Figura 28.** Variación de la humedad respecto al tiempo en función de la humedad  
residual ( $t = 60 \text{ min.}$ ,  $T = 55^\circ\text{C}$   $V_1=2.5 \text{ m/s}$ ,  $V_2= 3 \text{ m/s}$  y  $V_3= 3.5 \text{ m/s}$ )..... 74

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valor nutricional del azafrán por cada 100 g .....	3
Tabla 2. Registro de datos según cada tratamiento con tres repeticiones .....	17
Tabla 3. Descripción organoléptica o sensorial del Azafrán .....	20
Tabla 4. Análisis fisicoquímico de los rizomas de Azafrán .....	20
Tabla 5. Numero de colonia de mohos y levaduras por gramo .....	30
Tabla 6. Requisitos mínimos de harinas .....	41
Tabla 7. Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 0 min. de cocción, en el secador de bandejas a 50°C de temperatura y velocidad 2.5 m/s .....	43
Tabla 8. Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 0 min. de cocción, en el secador de bandejas a 50°C de temperatura y velocidad 3 m/s .....	44
Tabla 9. Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 0 min. de cocción, en el secador de bandejas a 50°C de temperatura y velocidad 3.5 m/s .....	45
Tabla 10. Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 0 min. de cocción, en el secador de bandejas a 55°C de temperatura y velocidad 2.5 m/s .....	47
Tabla 11. Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 0 min. de cocción, en el secador de bandejas a 55°C de temperatura y velocidad 3 m/s .....	48
Tabla 12. Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 0 min. de cocción, en el secador de bandejas a 55°C de temperatura y velocidad 3.5 m/s .....	49

Tabla 13. Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 0 min. de cocción, en el secador de bandejas a 60°C de temperatura y velocidad 2.5 m/s .....	51
Tabla 14. Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 0 min. de cocción, en el secador de bandejas a 60°C de temperatura y velocidad 3 m/s .....	52
Tabla 15. Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 0 min. de cocción, en el secador de bandejas a 60°C de temperatura y velocidad 3.5 m/s .....	53
Tabla 16. Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 30 min. de cocción, en el secador de bandejas a 50°C de temperatura y velocidad 2.5 m/s .....	55
Tabla 17. Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 30 min. de cocción, en el secador de bandejas a 50°C de temperatura y velocidad 3 m/s .....	56
Tabla 18. Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 30 min. de cocción, en el secador de bandejas a 50°C de temperatura y velocidad 3.5 m/s .....	57
Tabla 19. Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 30 min. de cocción, en el secador de bandejas a 55°C de temperatura y velocidad 2.5 m/s .....	59
Tabla 20. Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 30 min. de cocción, en el secador de bandejas a 55°C de temperatura y velocidad 3 m/s .....	60

Tabla 21. Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 30 min. de cocción, en el secador de bandejas a 55°C de temperatura y velocidad 3.5 m/s .....	61
Tabla 22. Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 30 min. de cocción, en el secador de bandejas a 60°C de temperatura y velocidad 2.5 m/s .....	63
Tabla 23. Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 30 min. de cocción, en el secador de bandejas a 60°C de temperatura y velocidad 3 m/s .....	64
Tabla 24. Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 30 min. de cocción, en el secador de bandejas a 60°C de temperatura y velocidad 3.5 m/s .....	65
Tabla 25. Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 60 min. de cocción, en el secador de bandejas a 50°C de temperatura y velocidad 2.5 m/s .....	67
Tabla 26. Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 60 min. de cocción, en el secador de bandejas a 50°C de temperatura y velocidad 3 m/s .....	68
Tabla 27. Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 60 min. de cocción, en el secador de bandejas a 50°C de temperatura y velocidad 3.5 m/s .....	69
Tabla 28. Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 60 min. de cocción, en el secador de bandejas a 55°C de temperatura y velocidad 2.5 m/s .....	71

Tabla 29. Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 60 min. de cocción, en el secador de bandejas a 55°C de temperatura y velocidad 3 m/s .....	72
Tabla 30. Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 60 min. de cocción, en el secador de bandejas a 55°C de temperatura y velocidad 3.5 m/s .....	73
Tabla 31. Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 60 min. de cocción, en el secador de bandejas a 60°C de temperatura y velocidad 2.5 m/s .....	75
Tabla 32. Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 60 min. de cocción, en el secador de bandejas a 60°C de temperatura y velocidad 3 m/s .....	76
Tabla 33. Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 60 min. de cocción, en el secador de bandejas a 60°C de temperatura y velocidad 3.5 m/s .....	77
Tabla 34. Valores promedio de la evaluación organoléptica del sabor del azafrán deshidratado usado como aditivo en sopa de pollo.....	79
Tabla 35. Valores promedio de la evaluación organoléptica del color del azafrán deshidratado usado como aditivo en sopa de pollo.....	80
Tabla 36. Valores promedio de la evaluación organoléptica del aroma del azafrán deshidratado usado como aditivo en sopa de pollo.....	81
Tabla 37. Resultados promedios de la evaluación físico química .....	83

## INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. NORMA SANITARIA .....	41
ANEXO 2. RESULTADOS DE LA CINÉTICA DE SECADO .....	43
.....	
ANEXO 3. EVALUACIÓN ORGANOLÉPTICA DEL PREPARADO DE SOPA DE POLLO .....	79
ANEXO 4. FORMATO TEST DE ESCALA HEDÓNICA PARA EVALUAR EL COLOR, SABOR Y AROMA .....	82
ANEXO 5. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN FÍSICO QUÍMICA .....	83
ANEXO 6. ANÁLISIS DE VARIANZA .....	84
ANEXO 7. FOTOS DEL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN .....	87

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valor nutricional del azafrán por cada 100 g .....	3
Tabla 2. Registro de datos según cada tratamiento con tres repeticiones .....	17
Tabla 3. Descripción organoléptica o sensorial del Azafrán .....	20
Tabla 4. Análisis fisicoquímico de los rizomas de Azafrán .....	20
Tabla 5. Numero de colonia de mohos y levaduras por gramo .....	30
Tabla 6. Requisitos mínimos de harinas .....	41
Tabla 7. Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 0 min. de cocción, en el secador de bandejas a 50°C de temperatura y velocidad 2.5 m/s .....	43
Tabla 8. Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 0 min. de cocción, en el secador de bandejas a 50°C de temperatura y velocidad 3 m/s .....	44
Tabla 9. Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 0 min. de cocción, en el secador de bandejas a 50°C de temperatura y velocidad 3.5 m/s .....	45
Tabla 10. Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 0 min. de cocción, en el secador de bandejas a 55°C de temperatura y velocidad 2.5 m/s .....	47
Tabla 11. Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 0 min. de cocción, en el secador de bandejas a 55°C de temperatura y velocidad 3 m/s .....	48
Tabla 12. Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 0 min. de cocción, en el secador de bandejas a 55°C de temperatura y velocidad 3.5 m/s .....	49

## ABSTRACT

This work of research objective was to evaluate the influence of the speed and the temperature of the drying air to obtain a food additive powder from *Curcuma longa* 'Saffron'. Worked with Rhizomes of *Curcuma longa* from the province Utcubamba, Amazonas region, was collected at its physiological maturity, of size 5 cm and diameter 2 cm; with nine and ten months after planting, with the stem this beige and death of the foliage; the execution of the kinetics of drying saffron fulfilled a corresponding technology flow chart. The sensory evaluation with panelists semi trained and physico-chemical equipment and methods recommended by the AOAC has been. Working with treatments (0 min, 30 min and 60 min) cooking and drying in dryer trays in air temperatures of 50° C, 55° C and 60° C and 2,5 air speed m/s and 3 m/s and 3,5 m/s, a total of 27 treatments. The statistical design was an experiment trifactorial of type 3Ax3Bx3C under (DCA) randomized experimental design with 3 replications. In the different treatments was the physical, chemical and sensory analysis. The food additive powder from saffron, was determined that temperature and velocity of drying of cooked and fresh saffron, influence directly on the characteristics of physical, chemical and organoleptic dry product (evaluated in chicken soup additive) since higher temperature and drying speed change the presentation in color, aroma, flavor and form; concluding that the best treatment is the Saffron cooked for 60 min and dried at a temperature of 55 °C and speeds of the air of 2,5 m/s, 3 m/s or 3,5 m/s, between these treatments, there is no significant difference; obtaining on average a hedonic rating that like a lot (4,6) and physico-chemical characterization of pH = 6,2; humidity 79%; Ash 11,2%.

**Key Words:** Drying, Additive, *Curcuma longa*.

## I. INTRODUCCIÓN

Como resultado del presente trabajo se ha obtenido un aditivo alimentario en polvo envasado y sellado, a partir del azafrán, un producto con mayor estabilidad, de mejor presentación y ergonomía para su comercialización; en la actualidad el azafrán es utilizado como colorante para la preparación de los alimentos con una presentación de alto contenido de humedad. El aditivo alimentario elaborado pone a disposición de los inversionistas la posibilidad de producir azafrán en polvo o harina como producto obtenido óptimamente con las condiciones medio ambientales de la ciudad de Chachapoyas en la región Amazonas – Perú; ya que como es conocido en la operación unitaria de secado o deshidratación de un alimento fresco las características termodinámicas del aire son determinantes y de vital importancia para lograr la eficiencia de dicho proceso.

El azafrán presenta componentes químicos (polifenoles) que le dan propiedades muy importantes. La materia prima de un color amarillo intenso que se utiliza tradicionalmente como un aditivo alimentario en todas las regiones del país para dar color y sabor a las comidas, sin embargo su uso y obtención es empírica, es decir no se cuenta con una tecnología de secado estandarizado para obtener un mejor producto seco, por lo que es utilizado o comercializado como una masa con alta humedad.

Actualmente se comercializa como el aditivo alimentario E100 o cúrcuma, en algunos países de Hispanoamérica es conocida como palillo, es un

condimento muy utilizado en la cocina tradicional y se comercializa tanto la raíz como el polvo.

### 1.1.El Azafrán (*Curcuma longa*)



Fotografía 1. Rizomas y polvo de azafrán

La cúrcuma es una planta herbácea rizomática vivaz, de la familia de las *Gingiberaceas*, puede alcanzar hasta 1 metro de altura, sus flores son muy vistosas por lo que se cultiva en los jardines como ornamental. Hace más de 4.000 años que se viene usando la Cúrcuma por sus propiedades y como condimento y colorante.

La cúrcuma se utiliza como condimento alimentario, aunque también se utiliza en la medicina ayurvédica para la curación de heridas y en el tratamiento de malestares gastrointestinales y dolor articular. (Peralta, 2008)

La Curcumina, 1,7 – bis (4-hidroxi-3-metoxifenol) - 1,6 – heptadieno -3,5 - diona) o diferuloilquinona, es el polifenol más abundante presente en la cúrcuma, una especie culinaria obtenida a partir de los rizomas secos de la

*Curcuma longa* Linn. La cúrcuma es conocida principalmente por su excelente habilidad como colorante y especia alimentaria; su uso como aditivo en los alimentos está aprobado en la mayoría de los países occidentales. (Stiget *al.*, 2008).

## 1.2. Valor nutricional del Azafrán por cada 100 g

Tabla 1: Valor nutricional del azafrán por cada 100 g

Valor nutricional	Cantidad
Energía	310 kcal 1280 kJ
<b>Carbohidratos</b>	67,14 g
• Azúcares	3,21 g
• Fibra alimentaria	22,7 g
<b>Grasas</b>	3,25 g
<b>Proteínas</b>	9,68 g
<b>Agua</b>	12,85 g
Retinol (vit. A)	0 µg (0%)
Tiamina (vit. B <sub>1</sub> )	0,058 mg (4%)
Riboflavina (vit. B <sub>2</sub> )	0,150 mg (10%)
Niacina (vit. B <sub>3</sub> )	1,350 mg (9%)
Vitamina B <sub>6</sub>	0,107 mg (8%)
Vitamina C	0,7 mg (1%)
Vitamina E	4,43 mg (30%)
Vitamina K	13,4 µg (13%)
Calcio	168 mg (17%)
Hierro	55,00 mg (440%)
Magnesio	208 mg (56%)
Fósforo	299 mg (43%)
Potasio	2080 mg (44%)
Sodio	27 mg (2%)
Zinc	4,50 mg (45%)

Fuente: Cúrcuma en la base de datos de nutrientes de USDA, 2009

Los datos actuales acerca de las principales moléculas activas derivadas de la cúrcuma, para las cuales se ha demostrado que poseen una potente actividad antioxidante, inhiben la ciclooxigenasa 1 (COX-1), la lipoperoxidasa (LPO), el factor nuclear NF-κB (NF-κB), así como los AGE. La mayoría de los efectos han sido demostrados mediante estudios experimentales; sin embargo, los estudios clínicos en humanos son

escasos. Se ha sugerido que la suplementación con curcuminoides podría ser interesante como un complemento para los tratamientos farmacológicos, además como tratamiento prebiótico en condiciones en las que no existe una terapia eficaz, como en el caso de la enfermedad de Crohn, en pacientes ingresados en Unidades de Cuidados Intensivos durante periodos prolongados, y también en patologías tales como el cáncer, la cirrosis hepática, la enfermedad renal crónica, la enfermedad digestiva obstructiva, la diabetes y la enfermedad de Alzheimer (Stiget *al.*, 2003).

La extracción de compuestos de origen natural es una de las industrias en mayor crecimiento debido a los beneficios que presentan frente a sus análogos de origen sintético. El principal compuesto coloreado de los rizomas de la cúrcuma (*Curcuma longa L.*) es la Curcumina, extraída con rendimiento del 7,03% tras 9 horas de extracción, utilizando el equipo Soxhlet con solventes orgánicos (hexano y etanol). La separación y purificación se realizó por cromatografía de capa delgada y de columna, usando como fase móvil una mezcla de cloroformo y acetato de etilo. El colorante fue caracterizado por análisis espectroscópicos de ultravioleta visible (UV-Vis), infrarrojo (IR), resonancia magnética nuclear (1D-RMN y 2D-RMN) y espectroscopia de masas (EM). Los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos de humedad, cenizas, extracto etéreo, contenido de fibras y contenido de curcumina de los rizomas de la región fueron comparados con los reportes de otras regiones del mundo, encontrando notables diferencias entre los parámetros comparados (Ríos *et al.*, 2009).

### **1.3. El Azafrán como aditivo alimentario**

Se adiciona a los alimentos con el fin de mejorar su apariencia, sabor, color, y ayudar a su preservación. Actualmente hay un considerable interés mundial en el desarrollo de los colorantes naturales debido a su seguridad y beneficio para el organismo (Tafoya y García, 1993).

### **1.4. Generalidades del secado**

La deshidratación es posiblemente uno de los métodos más antiguos de conservación de alimentos y representa un aspecto muy importante de su procesado. El daño térmico ocurrido en el producto durante el secado es directamente proporcional a la temperatura y al tiempo del proceso. A menudo, las altas temperaturas y tiempos prolongados de secado causan efectos adversos en la textura, color, sabor y valor nutricional del producto. (Schadle et al., 1988; Yang y Atallah, 1985; Yongsawatdigul y Gunasekaran, 1996).

**1.4.1. Secado:** el calor requerido para el secado puede ser suministrado por convección, conducción y radiación. En el proceso de alimentos se puede realizar tanto el secado directo o indirecto, los sistemas de secado indirecto son simples, no solo en los conceptos utilizados sino también en el equipo requerido (Cook y Du Mont, 1991).

La humedad es el contenido de agua por unidad de masa de sólido seco. El término secado se refiere a la eliminación de humedad de

una sustancia. De acuerdo a la forma de operación, el secado puede ser continuo o discontinuo; y de acuerdo al agente de secado puede ser directo o indirecto. En Ingeniería Agroindustrial, consideraremos que el causante de la humedad es el agua y que el agente de secado es aire caliente. A continuación se definen ciertos términos que se utilizan para describir el contenido de humedad de las sustancias (Ocon y Tojo, 1980; Perry y Chilton, 1982; Geankoplis, 1993).

La operación de secado es un proceso que implica transferencia de masa entre un gas y un sólido, donde la humedad contenida en el sólido se transfiere por evaporación hacia la fase gaseosa (Perry y Chilton, 1982).

#### **1.4.2. Contenido de humedad en base seca.**

Es la que expresa la humedad de un material como porcentaje del peso del sólido seco. Se define como:

$$Y_s = \frac{\text{msólido a secar} - \text{msólido seco}}{\text{msólido seco}} \times 100$$

#### **1.4.3. Contenido de humedad de equilibrio ( $Y_{eq}$ ).**

Es la humedad límite a la cual un material dado se puede secar en condiciones específicas de temperatura y humedad del aire empleado para el secado.

#### **1.4.4. Contenido crítico de humedad ( $Y_c$ )**

Es el contenido de humedad promedio cuando concluye el periodo de secado a velocidad constante.

#### **1.4.5. Contenido de humedad libre ( $Y_l$ ) o humedad residual ( $Y_r$ )**

Es el líquido que se puede separar a una temperatura y humedad dada. Este valor llega a incluir tanto la humedad ocluida como la no ocluida (retenida).

#### **1.4.6. Periodo de velocidad constante**

Es el tiempo de secado durante el cual la velocidad de eliminación de agua por unidad de superficie es constante o uniforme.

#### **1.4.7. Periodo de velocidad decreciente**

Es el tiempo de secado durante el cual la velocidad instantánea de secado disminuye en forma continua.

### **1.5. Secador de bandejas**

Un secador de bandejas es un equipo totalmente cerrado y aislado en el cual los sólidos se colocan sobre bandejas perforadas. La transmisión de calor puede ser directa del aire a los sólidos, utilizando la circulación de grandes volúmenes de aire caliente, o indirecta, utilizando repisas o bases calentadas por serpentines de radiador o paredes refractarias al interior de la cubierta. En unidades de calor indirecto, exceptuando los equipos de repisas al vacío, casi siempre se necesita la circulación de una pequeña

cantidad de aire para eliminar el vapor (humedad) del compartimiento y evitar la saturación y condensación del gas. Las unidades de bandejas se emplean para calentar y secar madera, cerámica, materiales en hojas (sostenidas en postes), objetos pintados, y todas las formas de sólidos articulados (Perry y Chilton, 1982).

El funcionamiento satisfactorio de los secadores de bandejas depende de mantener una temperatura constante y una velocidad de aire uniforme sobre todo del material que se esté secando.

Conviene tener una circulación de aire con velocidades de 1 a 10 m/s para mejorar el coeficiente de transferencia de calor en la superficie y con el propósito de eliminar bolsas de aire estancado. La corriente del aire adecuada para este tipo de secadores depende de si el ventilador tiene una capacidad suficiente, del diseño de la red de ductos para manejar cambios repentinos de dirección y de desviadores correctamente ubicados. La corriente del aire no uniforme es uno de los problemas más graves que se presentan en el funcionamiento de los secadores de bandejas (Vernon, 2000; Perry y Chilton, 1982).

#### **1.6.Secador de bandejas del laboratorio de Ingeniería de la UNTRM-A**

El equipo de laboratorio consta de un ducto de aire montado sobre una estructura que está a una altura comfortable para tener condiciones de trabajo adecuadas. El aire entra al ducto por medio de un soplador, cuya

velocidad puede ser controlada para producir un rango de velocidades de aire arriba de 1,5 m/s en el ducto.

El aire se calienta por medio de resistencias eléctricas instaladas en el ducto y activadas cada una por un interruptor, para proporcionar una temperatura del aire de hasta un máximo de 80°C. El aire pasa por el ducto y llega a una cabina que tiene 3 bandejas con el material a secar, soportadas en una estructura que permite el paso de la corriente de aire en flujo paralelo. Las bandejas son colocadas o retiradas de la cabina a través de una puerta lateral que tiene un vidrio para poder visualizarlas desde el exterior.

Después de pasar por las bandejas, el aire es descargado a la atmósfera, en este punto se mide la velocidad del aire con un anemómetro digital. La temperatura de bulbo seco se mide con un termómetro que se coloca sobre la puerta de la cabina.

### **1.7. Clasificación de los productos en polvo de acuerdo al tamaño, forma y manejo de las partículas.**

Algunas características individuales de las partículas son importantes para determinar las propiedades del producto (Davies, 1984). Estas incluyen el tamaño de partícula, forma, superficie, densidad, dureza, propiedades de sorción, etc. El término tamaño referido a un producto en polvo o material particulado es relativo, sin embargo el tamaño se utiliza a menudo para clasificar, categorizar o caracterizar un producto en polvo.

### **1.8.Relación entre la cantidad de agua de un sistema y su actividad termodinámica.**

En lo que se refiere a la calidad y estabilidad de los productos alimenticios, es más importante el control de la actividad del agua ( $a_w$ ) que el del contenido total de agua. La isoterma de sorción del agua es una forma adecuada de analizar el grado de interacción del agua con el sustrato. Ésta representa la relación entre el contenido de humedad y la actividad termodinámica del agua en el producto, en un intervalo dado de humedades. Cuando se establece el equilibrio termodinámico entre el alimento y su entorno, la  $a_w$  es igual a la humedad relativa del aire que rodea al producto a una temperatura determinada, expresada en tanto por uno. Por lo tanto, en ese momento, la  $a_w$  del producto se puede expresar como humedad relativa de equilibrio. Si el alimento no se encuentra en equilibrio termodinámico con su entorno, ganará o perderá agua hasta alcanzarlo.

Con relación a los productos en polvo, se conoce que la rehidratación involucra cuatro condiciones diferentes: la habilidad para humectarse “wetability”, la capacidad para sumergirse “sinkability”, la agilidad para dispersarse en partículas independientes en el solvente “dispersibility” y finalmente la solubilización “solubility”, que determinará la homogeneidad en el material reconstituido (Freudig, 1999).

## II. MATERIAL Y MÉTODO

### 2.1.MATERIA PRIMA

Para el desarrollo de la presente investigación se empleó rizomas de Azafrán (*Cúrcuma longa*), provenientes del distrito de Bagua capital, provincia de Utcubamba, Región Amazonas

La recolección de los rizomas se realizó teniendo en cuenta la madurez fisiológica, después de la caída de las hojas. Se extrajeron los rizomas con la ayuda de lampas, cuidando no dañarlos; el periodo de madurez que se tuvo en cuenta fue aproximadamente a los nueve y diez meses después de la siembra. Su madurez fisiológica se identifica cuando el tallo se presenta amarillento y se observa muerte del follaje (no debe tener pintas rojas, ni color verdoso).

Se seleccionaron rizomas en estado de maduración fisiológica total, con el fin de obtener los máximos resultados de caracterización, además durante su traslado al Laboratorio de Ingeniería de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, las muestras fueron empacadas y embaladas con sacos de polietileno para garantizar un óptimo estado de conservación al momento de su utilización. Una vez en el laboratorio éstos fueron tratados mediante el cumplimiento de la secuencia tecnológica propuesta en el flujograma.

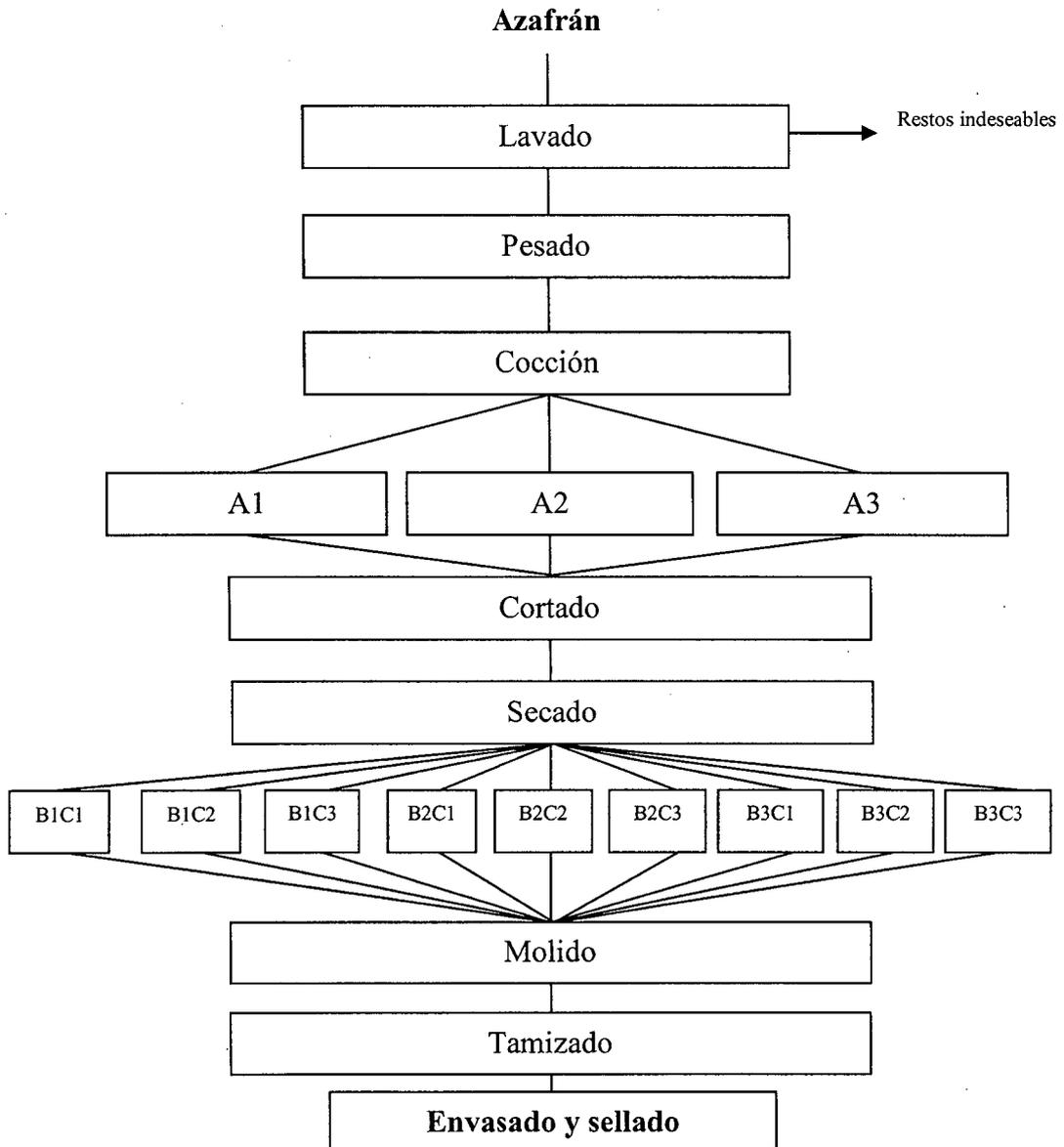
## 2.2.PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### 2.2.1. Secado de azafrán y obtención del aditivo alimentario en polvo

- **Rizomas:** se obtuvo la muestra de aproximadamente 6 kg de azafrán de un campo de cultivo; se realizó el control de calidad del tamaño (+/-5cm) y el diámetro (+/- 2 cm); al mismo tiempo se eliminó los rizomas inservibles.
- **Lavado:** La materia prima seleccionada fue lavada para eliminar impurezas, restos de tierra y desinfectada mediante la inmersión en una solución de hipoclorito de sodio al 5%., durante 20 minutos.
- **Pesado:** Se ha pesado toda la muestra con la finalidad de registrar datos para el balance de materia.
- **Cocción:** Se realizó aproximadamente a 90°C por tres tiempos de cocido, con la finalidad de elegir el mejor tratamiento.
- **Cortado:** se realizó el picado transversal de los rizomas para acondicionar para el siguiente tratamiento.
- **Secado:** se utilizó en el secador de bandejas con flujo de aire caliente del Laboratorio de Ingeniería de la UNTRM-A, previa selección de los parámetros de temperatura (50°C, 55°C y 60°C) y velocidad del aire de secado. (2,5 m/s, 3m/s y 3,5 m/s)
- **Molido:** las muestras secas de cada tratamiento se sometieron a molido
- **Tamizado:** Se realizó en un tamiz vibratorio (Tyler) de malla N°

100

- **Envasado:** el aditivo en polvo fue envasado y sellado en bolsas de aluminio, con una cantidad de 2,5 gramos aproximadamente.



**Figura 1.**Diagrama de flujo para la obtención de un aditivo alimentario en polvo; a partir de *Cúrcuma longa* “Azafrán”.

### 2.2.2. Análisis del aditivo alimentario en polvo; a partir de *Cúrcuma longa* “azafrán”

a) **Análisis organoléptico:** se realizó con panel semientrenado, empleando la escala hedónica siguiente:

Me gusta mucho = 5

Me gusta moderadamente = 4

No me gusta ni me disgusta = 3

Me disgusta moderadamente = 2

Me disgusta mucho = 1

Para ello se aplicó el colorante a una sopa de pollo de preparación estándar donde se calificará principalmente el color y sabor

b) **Análisis fisicoquímico:** Se analizó el contenido de humedad, cenizas, pH, acidez y color; teniendo en cuenta los requisitos especificados por la Norma Técnica Peruana NTP 209.244:1986.

➤ **Análisis de humedad:** se realizó con el analizador automático de humedad

➤ **Análisis de ceniza:** Para determinar las cenizas se realizó el siguiente procedimiento:

- Se pesó el crisol en balanza analítica y se anotó el peso.
- Se pesó en el crisol 2 gramos de la muestra y se registró el peso.
- Se pre incineró la muestra exponiéndola a la flama del mechero de Bunsen
- Se Incineró la muestra en la mufla precalentada entre 550° y 600°C durante 2 horas.

- Se Pesó el crisol con cenizas (ya no deben estar negras, si lo están incinere otra media hora) en la misma balanza que utilizó inicialmente. Se anotó el peso.

*% de Cenizas en base seca*

$$= \frac{\text{Peso de cenizas}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

- **Análisis de acidez:** Para determinar la acidez se hizo una dilución de la muestra, de la cual se tomó 9 ml en un matraz Erlenmeyer de 250 mL, a esta muestra se agregó 3 gotas de fenolftaleína y se agitó suavemente para uniformizar la muestra.

Se Abrió la llave de la bureta dejando caer gota a gota la solución de hidróxido de sodio (NaOH) 0,1N sobre la muestra de trabajo, simultáneamente se agitó el matraz con movimientos circulares suaves, hasta que la mezcla viró a un color rosa tenue, sin perder este color durante 20 segundos. Finalmente se leyó en la bureta la cantidad de NaOH que se ha utilizado.

- c) **Análisis microbiológico:** Actualmente en el Perú, DIGESA ha establecido criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad que deben cumplir los alimentos y bebidas en estado natural, elaborados o procesados, para ser considerados aptos para el consumo humano. La verificación de su cumplimiento está a cargo de los organismos competentes en vigilancia sanitaria de alimentos y bebidas a

nivel nacional. Dichos criterios fueron promulgados según Resolución Ministerial N° 591-2008-SA/DM del Ministerio de Salud.( Proyecto BID-ADEX –RTA. 2009)

Para la evaluación de las enterobacterias se realizó la técnica de estría cruzada en el medio de cultivo SIM, inoculando la muestra en los 4 cuadrantes de la placa que contiene el cultivo, que se haya dividido anticipadamente a esta inoculación en tres cuadrantes debe ser muy juntas la una de la otra y en un cuadrante las estrías simples deben ser más abiertas.

Posteriormente se incubó las cajas en forma invertida por un lapso de 24 horas a 35° C; seguidamente se seleccionó una colonia para observar en un microscopio y determinar su presencia.

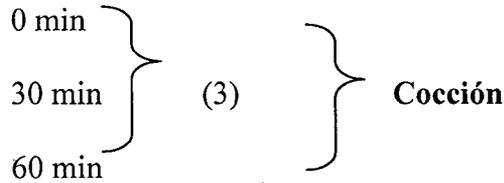
Para evaluar los mohos se utilizó el medio de cultivo Papa Dextrosa Agar rosa de bengala, el método de inoculación fue el mismo de las enterobacterias, con una incubación de 28 – 30 ° C durante 3 – 5 días. Finalmente se observó en el microscopio con objetivo de 40 X y 100X.

### **2.2.3. Análisis de datos**

Para evaluar los tratamientos en el proceso de obtención de un aditivo alimentario en polvo; a partir de *Cúrcuma longa*

“Azafrán” se empleó un experimento trifactorial del tipo 3Ax3Bx3C bajo un diseño experimental completamente al azar (DCA) con 3 repeticiones.

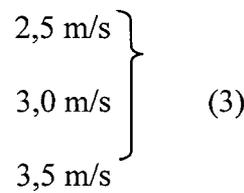
**Factor A:** Tiempo de cocción



**Factor B:** temperatura del aire.



**Factor C:** velocidad del aire.



$3 * 3 * 3 = 27$  tratamientos \* 3 repeticiones.

**Tabla 2: Registro de datos según cada tratamiento con tres repeticiones**

R E P	A1									A2									A3											
	B1			B2			B3			B1			B2			B3			B1			B2			B3					
	C1	C2	C3																											
1																														
2																														
3																														
..																														

De acuerdo al diseño se puede observar que se tiene 81 unidades experimentales

## VARIABLES RESPUESTAS:

i) Características organolépticas:

$Y_1$ : Color

$Y_2$ : Sabor

ii) Análisis físico químico y microbiológico

### Modelo Aditivo Lineal

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

Dónde:

$Y_{ijkl}$ : :Color, Sabor y análisis físico químico y microbiológico experimentado en el i-ésimo tiempo de cocción; j-ésima temperatura del aire de secado; k-ésima velocidad del aire de secado y en la l-ésima unidad experimental.

$\mu$  :Efecto de la media general.

$\alpha_i$  :Efecto de la i – ésimotiempo de cocción.

$\beta_j$  :Efecto del j-ésimatemperatura del aire de secado.

$\delta_k$  : Efecto del k-ésima velocidad del aire de secado

$(\alpha\beta)_{ij}$  :Efecto de la interacción de i- ésimotiempo de cocción y j- ésimatemperatura del aire de secado

$(\alpha\delta)_{ik}$  : Efecto de la interacción de i- ésimotiempo de cocción y k- ésimavelocidad del aire de secado

$(\beta\delta)_{jk}$  : Efecto de la interacción del j- ésimateperatura del aire de secado y k- ésima velocidad del aire de secado

$(\alpha\beta\delta)_{ijk}$  : Efecto de la interacción del i-ésimo porcentaje de amilosa; j- ésima temperatura del aire de secado y k-ésima velocidad del aire de secado

$\epsilon_{ijk}$  : Error experimental.

**Cuadro ANVA**

F de V	GL	SC	CM	Fc	Ft
Tratamiento					
A					
B					
C					
A*B					
A*C					
B*C					
A*B*C					
Error Experimental					
Total					

**Comparaciones de Medias:**

Las diferencias entre las medias de los tratamientos se evaluó con la prueba de Tukey del 95% de confianza.

### III. RESULTADO

#### 3.1. Características de los rizomas de Azafrán

Los rizomas de Azafrán, materia prima para el presente trabajo, se han obtenido directamente de los campos de cultivo del distrito de Bagua capital, se cosechó a los nueve a diez meses después de la siembra, su madurez fisiológica se identificó cuando el tallo estuvo amarillento y se observó muerte del follaje (no debe tener pintas rojas, ni color verdoso), describiéndose las características morfológicas, organolépticas y fisicoquímicas que se muestran en las tablas 3 y 4

**Tabla 3: Descripción organoléptica o sensorial del Azafrán**

Muestra	Color externo	Color interno	Olor	Textura interna	Textura externa
1	Marrón	Amarillo - anaranjado	Inodoro	Suave - pastosa	Áspera
2	Marrón claro	Amarillo - anaranjado	Inodoro	Suave - pastosa	Áspera
3	Marrón	Amarillo - anaranjado	Inodoro	Suave - pastosa	Áspera - poco liso

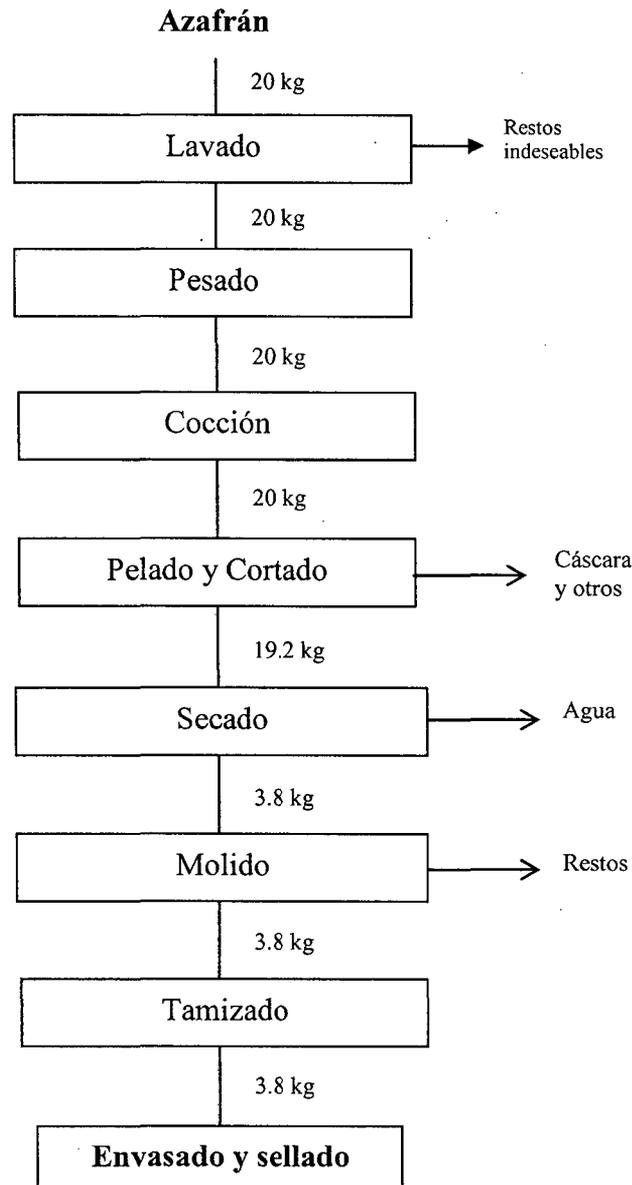
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4: Análisis fisicoquímico de los rizomas de Azafrán**

Análisis fisicoquímico	Resultados
pH	6,2
Acidez	0,55%
Humedad	79%
Ceniza	11,2%

Fuente: Elaboración propia

### 3.2. Balance de materia para la obtención de Azafrán en polvo



En algunos de los tratamientos se ha incluido la cocción, en otros no. En el balance de materia se ha tenido en cuenta todos los tratamientos, obteniéndose un promedio de rendimiento del 19 %, ya que la mayor cantidad de masa es el agua.

### **3.3. Cinética de secado de rizomas de Azafrán**

Al realizar el análisis gráfico del comportamiento de la humedad residual en función del tiempo y la velocidad de secado versus la humedad residual; calculados cada 10 minutos para las repeticiones realizadas; mostraron la misma tendencia, determinándose así solo la confirmación del comportamiento de esta materia prima en el proceso de secado; sin embargo se verificó mayor velocidad de secado en las muestras que fueron tratadas con 30 min y 60 min de cocción, situación que se puede explicar solamente por la posible mayor facilidad para la salida del agua desde los tejidos del rizoma de Azafrán.

En función única de la evaluación organoléptica y sensorial del producto obtenido se ha determinado que el tratamiento a tiempo de cocción de 60 min, temperatura de 55°C y velocidad del aire de secado de 3 m/s; es el que mejor respuesta a la aceptación ha tenido cuando fue usado como colorante en la preparación de una sopa de pollo.

En el análisis de las gráficas de la cinética de secado se observa que existe menor tiempo de equilibrio en las muestras que han tenido mayor tiempo de cocción, es decir existe mayor facilidad para la deshidratación en las muestras sometidas a cocción y además se puede entender que al realizar la cocción se está eliminando ciertas sustancias aromáticas que le otorgan sabores y olores poco agradables a la muestra. Las humedades críticas analizadas en las diferentes gráficas se efectúan entre los 45 y 55 min de secado dependiendo de la temperatura de operación.

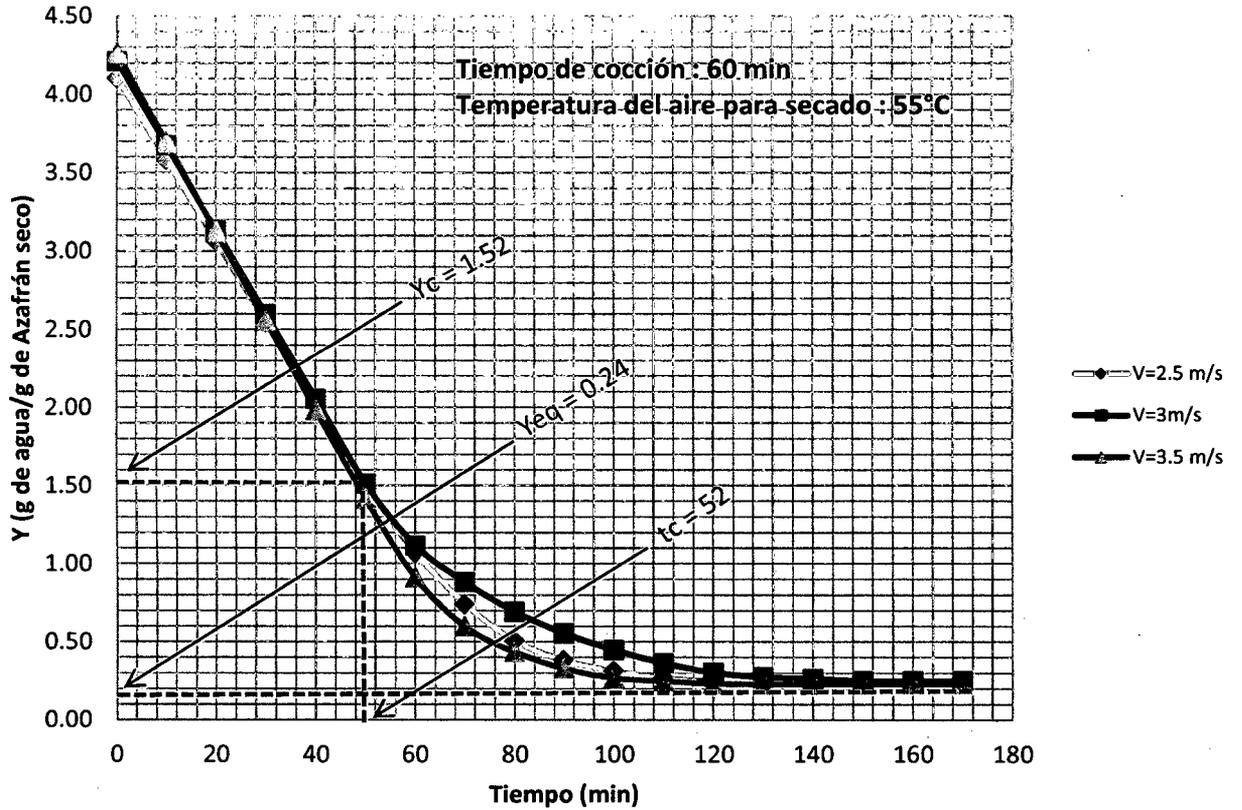


Figura 2 : Humedad residual en función del tiempo ( $t = 60$  min,  $T = 55^\circ\text{C}$   $V_1=2.5$  m/s,  $V_2= 3$  m/s y  $V_3= 3.5$  m/s)

La Figura 2 corresponde a la gráfica de la humedad residual en función del tiempo, con una cocción del Azafrán de 60 min y una temperatura del aire de secado de  $55^\circ\text{C}$ , para cada una de las velocidades de aire de secado donde se observa que al aumentar la velocidad de secado el tiempo crítico disminuye pero la humedad crítica y la humedad de equilibrio son iguales para las tres velocidades del aire de secado.



27 NOV 2015

Además se observa que la humedad crítica tiene un valor promedio de 1,52 g de agua/ g de Azafrán seco y la humedad de equilibrio está en un promedio de 0,24 g de agua/ g de Azafrán seco

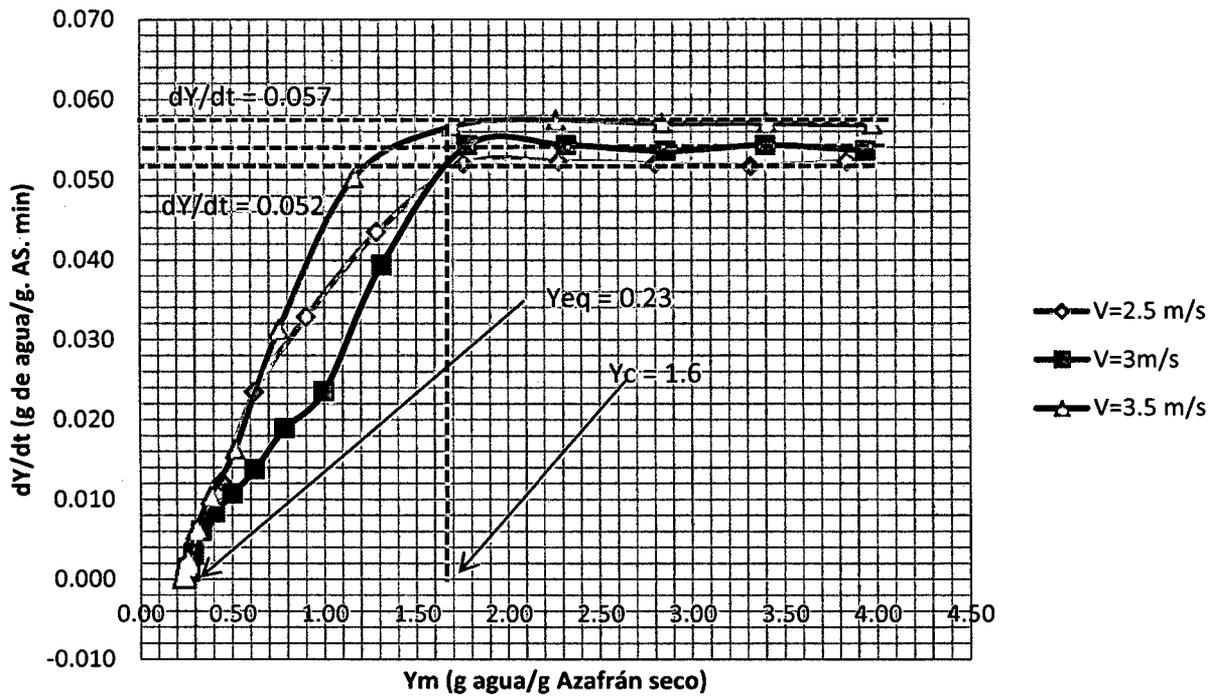


Figura 3: Variación de la humedad respecto al tiempo en función de la humedad residual ( $t = 60\text{min}$ ,  $T = 55^\circ\text{C}$ ,  $V_1=2,5\text{ m/s}$ ,  $V_2= 3\text{ m/s}$  y  $V_3= 3,5\text{ m/s}$ )

La Figura 3 corresponde a la gráfica de velocidad de secado y la humedad residual promedio, para cada una de las velocidades evaluadas, a la temperatura de  $55^\circ\text{C}$  y un tiempo de cocción de 60 min de la materia prima; a esa temperatura la velocidad máxima fue 0,057 g de agua/g A.S. min, correspondiendo a la velocidad del aire de 3,5 m/s.

### 3.4. Propiedades fisicoquímicas

#### 3.4.1. Rendimiento de los rizomas de Azafrán para la obtención de harina

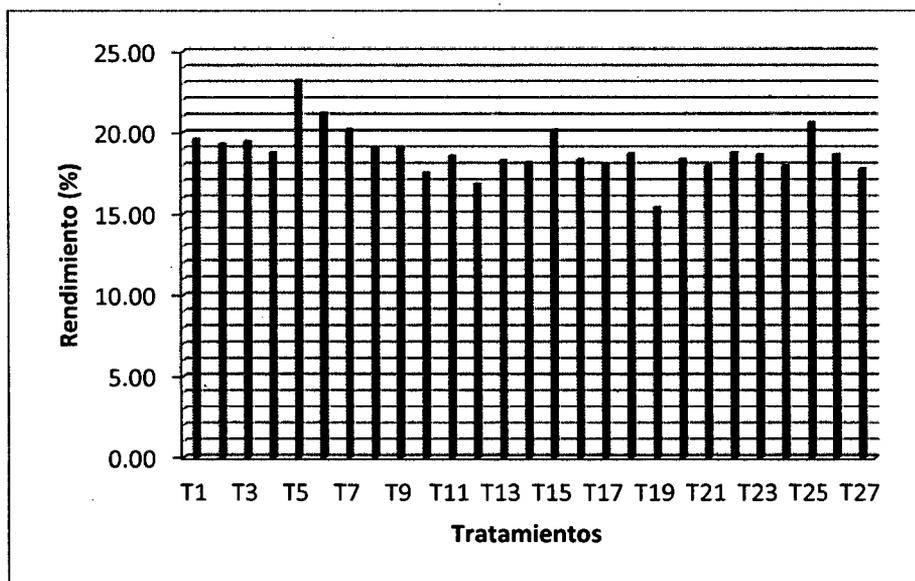


Figura 4: Valores promedio del rendimiento de los rizomas de Azafrán de los 27 tratamientos

La Figura 4, muestra el rendimiento de los rizomas de Azafrán teniendo en cuenta para el cálculo de dichos rendimientos el peso al momento del equilibrio termodinámico de la humedad de la muestra y la humedad del aire de secado; además de acuerdo a la gráfica podemos aseverar que el promedio general de rendimiento es del 20 %

### 3.4.2. Humedad

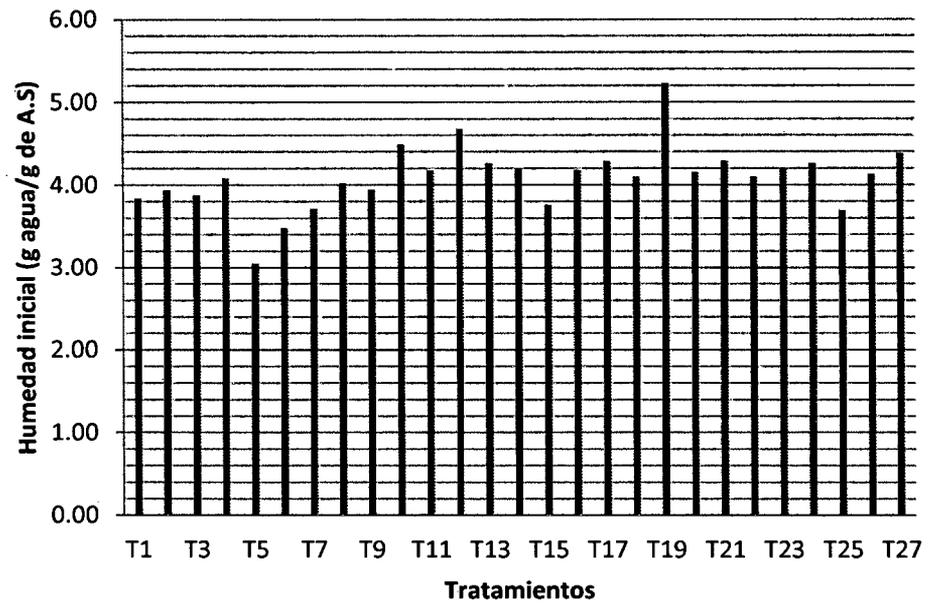


Figura 5. Valores de la humedad inicial en base seca de las muestras

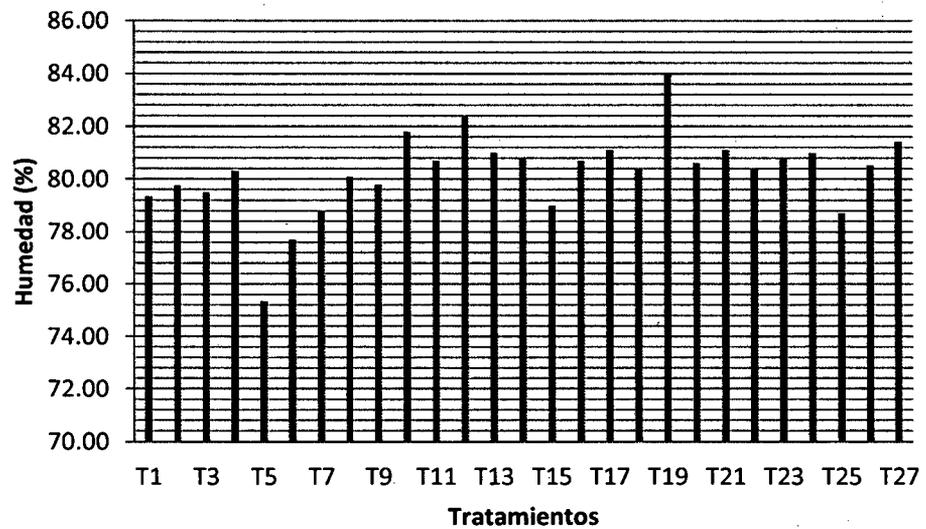


Figura 6. Humedad en porcentaje de cada una de las muestras

De acuerdo a las figuras podemos observar que la humedad porcentual en promedio es 78% aproximadamente.

### 3.4.3. pH del Azafrán deshidratado

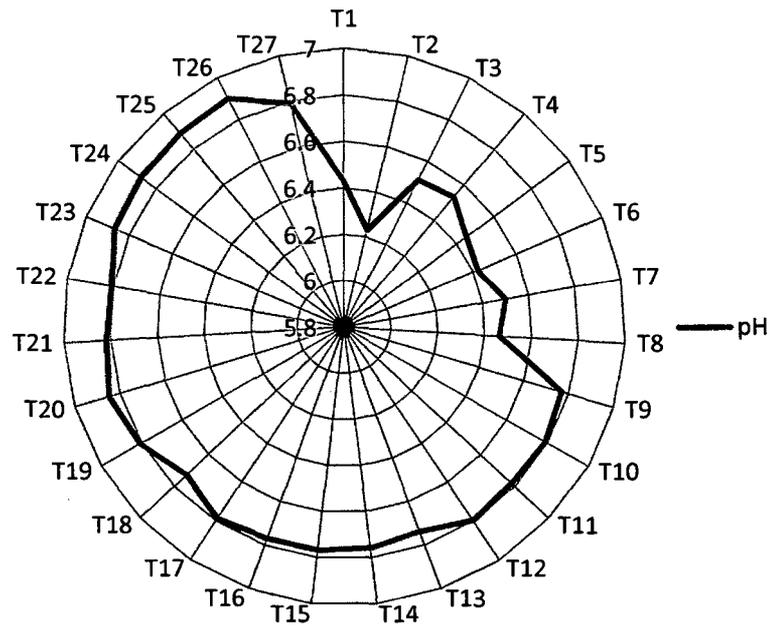


Figura 7: Valores promedio de pH del Azafrán deshidratado

### 3.4.4. Acidez titulable del Azafrán deshidratado

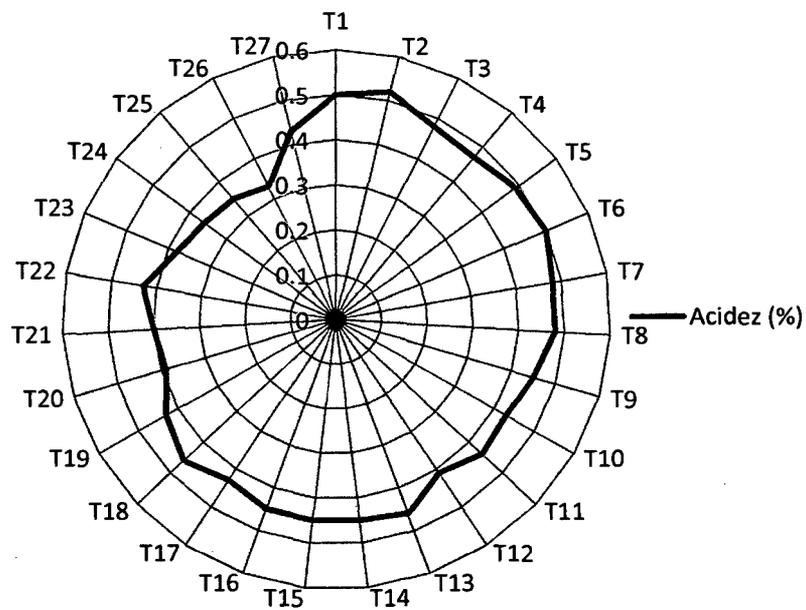
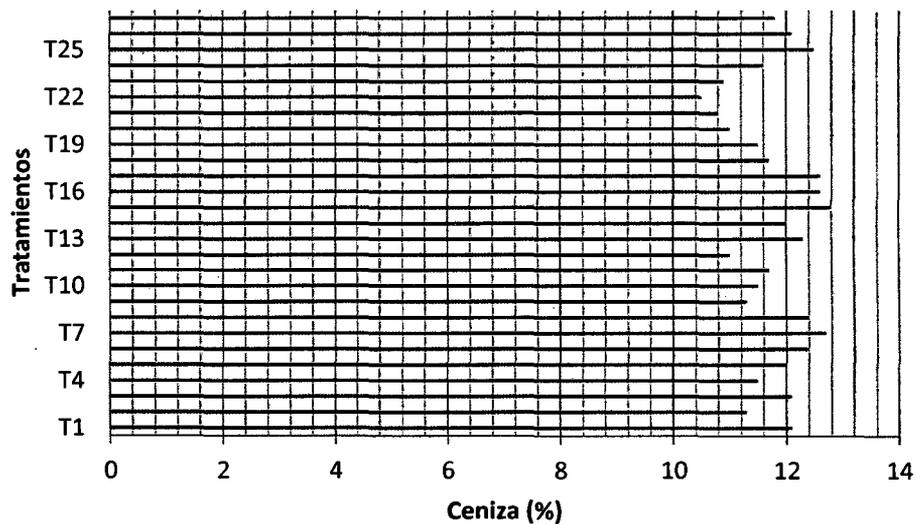


Figura 8: Valores promedio de la acidez del Azafrán deshidratado

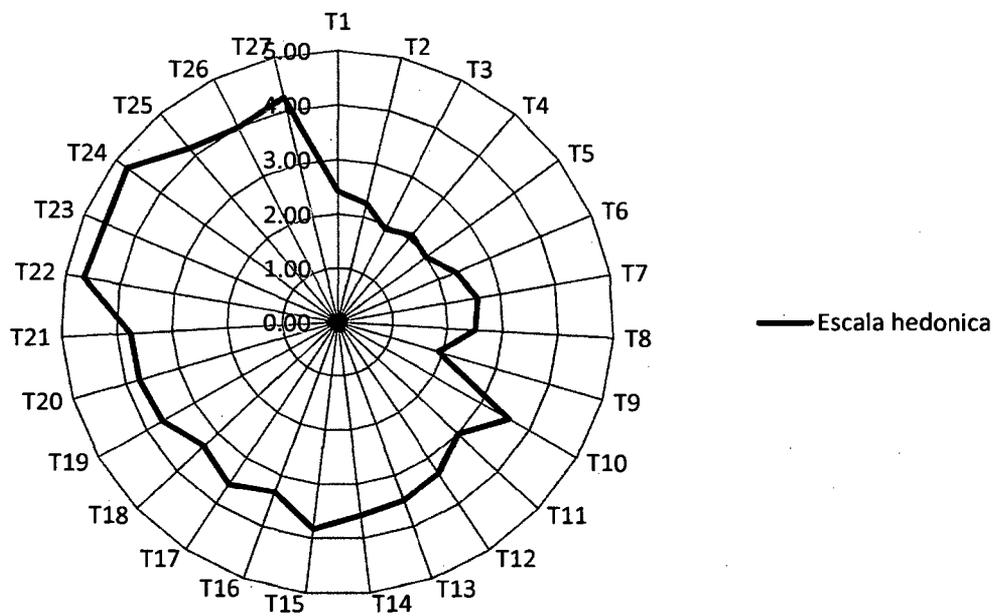
### 3.4.5. Ceniza



**Figura 9:** Valores promedio del porcentaje de ceniza del Azafrán deshidratado

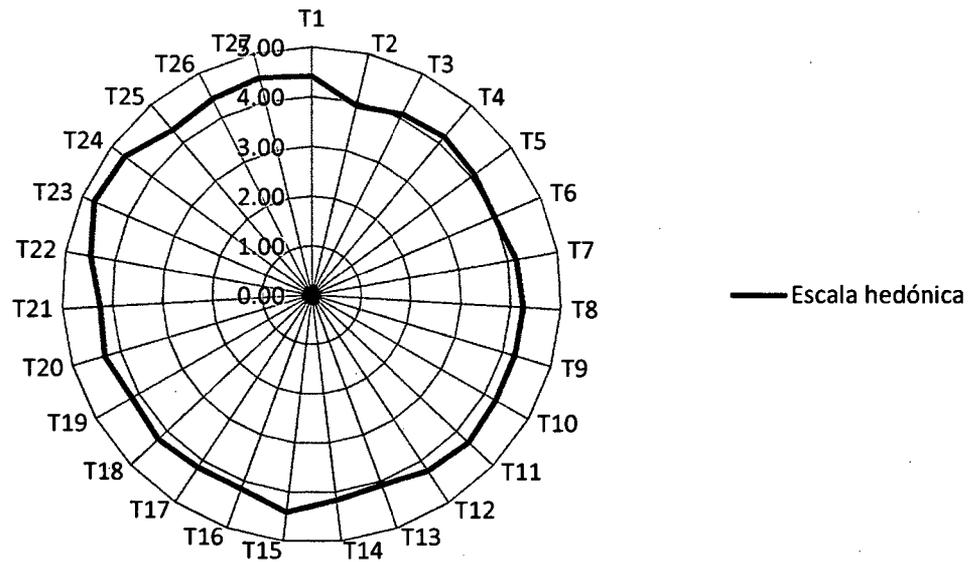
### 3.5. Propiedades Organolépticas

#### 3.5.1. Sabor



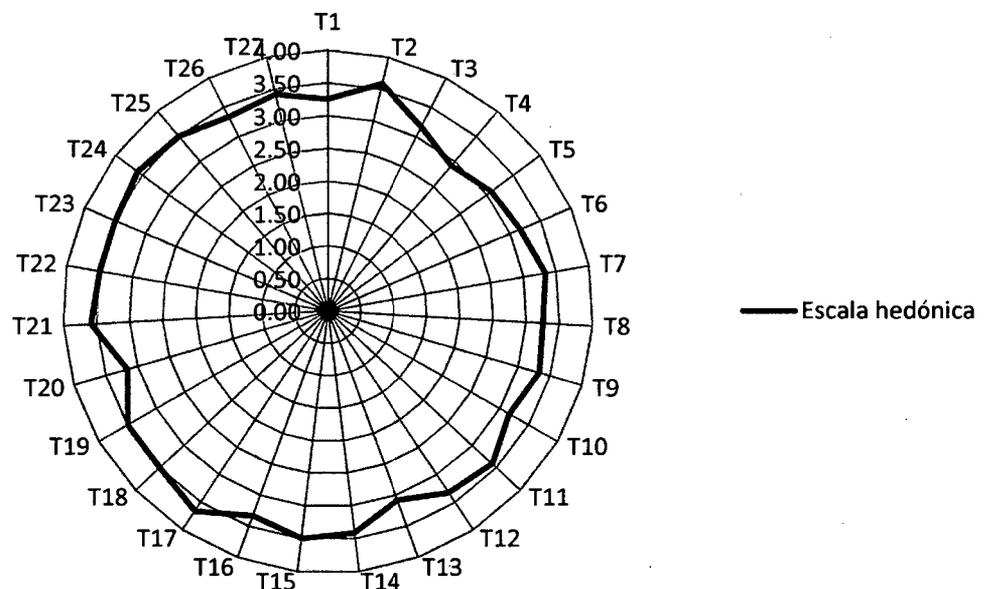
**Figura 10:** Valores promedio de la evaluación organoléptica del sabor del azafrán deshidratado usado como aditivo en sopa de pollo.

### 3.5.2. Color



**Figura 11:** Valores promedio de la evaluación organoléptica del color del azafrán deshidratado usado como aditivo en sopa de pollo.

### 3.5.3. Olor



**Figura 12:** Valores promedio de la evaluación organoléptica del olor del azafrán deshidratado usado como aditivo en sopa de pollo.

**3.6.Evaluación microbiológica de los mejores tratamientos expuestos al medio ambiente**

Tabla 5. Número de colonia de mohos y levaduras por gramo

Muestra	Evaluación	Días de evaluación	
		Día 15 (UFC/g)	Día 30 (UFC/g)
T22	Recuento de mohos	$0,7 \times 10^2$	$1,1 \times 10^2$
	Recuento de levaduras	Ausencia	Ausencia
T23	Recuento de mohos	$0,5 \times 10^2$	$1,4 \times 10^2$
	Recuento de levaduras	Ausencia	Ausencia
T24	Recuento de mohos	$0,6 \times 10^2$	$1,2 \times 10^2$
	Recuento de levaduras	Ausencia	Ausencia

Fuente: Elaboración propia – Laboratorio de biología –UNTRM - A

#### IV. DISCUSIÓN

Una operación de transferencia de masa y energía como es el secado siempre estará en función de la ley de equilibrio termodinámico; es decir la humedad y la temperatura siempre tenderán al equilibrio (Ocon y Tojo; 1980); en el presente trabajo se cumplió naturalmente dicha aseveración, sin embargo el equilibrio no fue indicador que el proceso de secado haya terminado o que el alimento ya este con la humedad comercial (+- 10%), ya que luego cuando las muestras fueron sometidas a la balanza de humedad aun presentaron una humedad residual, mayor al 10%

El aire es una mezcla gaseosa de nitrógeno (78%), oxígeno(21%) y otros gases (1%) considerado como aire seco, si tiene presencia de vapor se convierte en aire húmedo, siempre en función de la temperatura y la presión (Ocon y Tojo, 1980), en ese sentido la calidad del aire de la ciudad de Chachapoyas en ciertas épocas del año es inadecuado la humedad llega hasta un 85%; convirtiéndose en esa estación, en un aire no adecuado para efectuar un proceso de secado de alimentos que permita llegar a un contenido de humedad menor al 10 % en el producto.

La velocidad de secado siempre está en función de la cantidad total de agua de la muestra y más principalmente de la actividad de agua, sin embargo en un secador de bandejas donde existe un flujo de aire se le puede atribuir una singular importancia a este flujo de aire ya que como se ve en el presente trabajo queda demostrado que a mayor velocidad del aire es menor el tiempo

crítico lo que coincide con lo reportado por Sandoval *et al.*,(2006), que a mayor velocidad del flujo del aire más acelerado es la cinética de secado.

Se puede deducir que a mayor temperatura de secado, sin influencia de la velocidad del aire, la humedad crítica aumenta, esto se debe que a mayor temperatura la humedad superficial es retirada más rápido en comparación a la humedad que migra del interior de las muestras de Azafrán, esto concuerda con lo encontrado por Vega y Lemus (2006)

La cinética del proceso de secado depende tanto de las características psicométricas del aire (Fellows, 1996), así como también de la geometría bidimensional y tridimensional (Geankoplis, C. 1993); sin embargo en la presente investigación no se ha tenido en cuenta el área de exposición al aire caliente, situación que no dificulta la ejecución de las gráficas representativas de la cinética de secado en donde se pueda aproximar los datos de tiempo crítico y tiempo total de secado

En el secado de las muestras de Azafrán se observó que mientras más alta sean la temperatura y velocidad de secado, más corto es el tiempo de secado, pero si la temperatura y la velocidad del aire de secado son bajos, tiempo de secado se alarga por lo que coincide con lo obtenido por Barrena *et al.*,(2009a y 2009b). La mayor velocidad y la mayor temperatura del aire en la operación del secador de bandejas, reduce el tiempo de secado; y las temperaturas altas afectan la calidad de la pulpa de lúcumas seca.

En los tratamientos del Azafrán para la presente investigación se empleó la cocción que es un tratamiento que naturalmente tiene efectos directos sobre una materia prima generalmente desnaturaliza su composición nutricional y por ende la caracterización fisicoquímica (Fellows, 1994). En el caso de estudio se ha realizado la cocción del Azafrán como un proceso de adecuación para los efectos de ser un aditivo alimentario y en consecuencia un alimento para el ser humano que tenga aceptabilidad y contribuya a la buena presentación de la preparación de alimentos que lo usen como colorante y saborizante.

En las pruebas de aceptabilidad organoléptica claramente se deja notar que el tratamiento del Azafrán a 60 min de cocción, secado a 55°C y velocidades de 2.5 m/s, 3 m/s y 3.5 m/s tiene mayor aceptabilidad en las pruebas de uso como aditivo en sopa de pollo, lo que concuerda con lo mencionado por Roque, 2013, donde se menciona que si bien es cierto que a mayor temperatura del aire de secado menor es el tiempo de secado lo que sería adecuado por el menor uso de energía sin embargo no siempre es el más adecuado en la condición de la conservación de propiedades y aceptabilidad de los consumidores.

Los valores de pH de Azafrán en polvo que se obtuvieron están entre 6.23 y 6.89, encontrándose dentro del rango para que se produzca el proceso de oxidación y consecuente cambio de color de Azafrán, conforme menciona Bello (2000), que uno de los factores imprescindibles para que suceda el pardeamiento enzimático es un pH entre 5 y 7; a pH 3 no existe pardeamiento

enzimático; situación que podría corregirse al realizar un envasado óptimo que tenga poca facilidad para la migración.

El análisis microbiológico es una evaluación muy importante ya que es en ella donde se puede determinar posibles contaminantes del producto que podrían ser nocivos para los consumidores confirmado por ICMSF (2000); la mayor parte de los alimentos se convierten en potencialmente peligrosos solo después que se han dejado de lado las reglas de higiene, limpieza y desinfección; en consecuencia se puede refutar mencionando que la evaluación microbiológica es totalmente relativa y variable ya que depende del cumplimiento o no, de reglas y normas que posibiliten la inocuidad.

## V. CONCLUSIÓN

1. La temperatura y velocidad del aire de secado influye directamente en la determinación de las características organolépticas y sensoriales de la harina de Azafrán, ya que a medida que se incrementa la temperatura y la velocidad del aire las muestras van perdiendo su color original, pierden su forma y la textura es más rugosa.
2. La influencia de la cinética de secado es acreditado por la evaluación sensorial de las muestras resultando con mayor aceptación y sin diferencia significativa las muestras T22, T23 y T24, los cuales fueron tratamiento con cocción por 60 min de la muestra y secado con aire a una temperatura de 55°C y velocidades de 2.5 m/s, 3 m/s y 3.5 m/s.
3. La cinética de secado de Azafrán presenta un periodo de velocidad constante y un periodo decreciente determinando así una coordenada de humedad crítica promedio de 1.52 g de agua/g de Azafrán seco y una humedad de equilibrio que está en un promedio de 0.24 g de agua/g de Azafrán seco
4. Las mejores condiciones para secar Azafrán en la ciudad de Chachapoyas; para la obtención de un aditivo alimentario 12% de humedad aproximadamente fueron:
  - Temperatura del aire de secado 55°C
  - Velocidad del aire de secado 3.5 m/s
  - Tiempo de secado en secador de bandejas 130 min
  - Humedad relativa del aire de secado 25%
5. Se realizó el envasado del producto seco en bolsas de aluminio con un peso de 50 g, con un costo aproximado de 2 nuevo soles

## VI. RECOMENDACIÓN

1. Para un proceso de secado de alimentos siempre se debe tener en cuenta la caracterización psicométrica del aire de un determinado lugar o espacio.
2. El aire óptimo para efectuar un proceso de secado debe ser seco, en caso de tener un lugar o espacio con alta humedad antes de utilizar el aire para secado se debe realizar un proceso de deshumidificación.
3. Para la obtención del Azafrán seco y en polvo es necesaria que la materia prima sea seleccionada en su periodo de madurez fisiológica total, para tener un producto con todas sus características.
4. Para lograr una adecuada conservación del producto se debe envasar y sellar herméticamente de preferencia el material de envase debe ser alupol termosellable.
5. Efectuar estudios de la variación de la curcumina del Azafrán por efectos de la cinética de secado.
6. Se debe realizar estudios de pre factibilidad de proyecto para la instalación de una Planta procesadora de Azafrán en polvo.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC. Association of Official Analytical Chemists.1990. Official Methods of Analysis of the.AOAC.15 th edition. Washington, USA.
  
- Bello, J. 2000. Ciencia bromatológica: principios generales de los alimentos. Ediciones Días de santos. Madrid – España.
  
- Cook. E. M. D. y Du Mont. 1991. Process Drying Practice. Editorial McGraw Hill. New York.
  
- Cheftel.J y Cheftel.1993. Introducción a la bioquímica y tecnología de Alimentos. Editorial. Acribia. Zaragoza España.
  
- Fellows, P.1994. Tecnología del Proceso de los Alimentos. Edición I, Editorial,Acribia S:A Zaragoza España.
  
- Geankoplis, C. 1993. Procesos de transporte y operaciones unitarias. Editorial C.E.C.S.A. Primera edición México.
  
- Goode,M yP.Hatt.1986. Métodos de Investigación social.14 o Reimpresión. Edit Trillas S.A, México.235 pp.
  
- International commission onmicrobial specifications for food, of the international Union of Biological societies. (ICMSF) 2000. Microorganismos de los alimentos su significado y métodos de enumeración. Segunda edición. Editorial Acribia S. A. Zaragoza – España.

- Mesa, M; Ramirez,M; Aguilera. 2000. Efectos farmacológicos y nutricionales de los extractos de *Curcuma longa* L. y de los cucuminoides Departamento de Bioquímica y Biología Molecular. Instituto de Nutrición y Tecnología de Alimentos.Ramón y Cajal, nº 4. 18071 Granada
- Montgomery, D.C.1991. Diseño y Análisis de Experimentos. Grupo Editorial Ibero América.
- Ocón G. J Y G. Tojo B. 1980 Problemas de Ingeniería Química. Tomo II. editorial Aguilar S.A. 5ta Reimpresión. España.
- Pasquel, A y Meireles, M. 2000. Extracción de heterósidos de stevia con CO<sub>2</sub> ms agua, CO<sub>2</sub> mas etanol y CO<sub>2</sub>mas agua mas etanol. Departamento de ingeniería de alimentos. Universidad nacional de la Amazonia Peruana. Iquitos – Perú.
- Peralta, M. 2008. Cúrcuma: *Curcuma longa*. Naturlider. Departamento técnico. Grupo Castañeda. Madrid – España
- Perry J. y C. Chilton. 1982. Manual del Ingeniero Químico. Editorial Mc Graw Hill. 2da Edición. Bogotá.
- Rios,E; Duque,A; León, D.2009. Caracterización espectroscópica y cromatográfica de curcumina extraída de los rizomas de Cúrcuma (*Curcuma longa l.*) Cultivada en el departamento del Quindío. Maestria en Química, Universidad del Quindio . Colombia.

- Rios, V; Giraldo, A; León F; Moreno B.A. 2008. Estudio del perfil volátil de los rizomas de curcuma long 1. Cultivada en la Región del Quindío., Revista de Investigaciones Universidad del Quindío.
- Sandoval, S. Rodríguez, J. Méndez, L. y Sánchez, J. 2006. Rapidez de secado reducida: una aplicación al secado convectivo de plátano Roátan Revista Mexicana de Ingeniería Química. México: Universidad Autónoma metropolitana Volumen 5, N°1
- Sharma A, Ireson CR, Verschoyle RD y cols. 2001. Effects of dietary curcumin on glutathione S-transferase and malonaldehyde-DNA adducts in rat liver and colonic mucosa:relationship with drug levels.
- Stig,B; Mesa, M; Gil,A. 2008. Efectos saludables de la cúrcuma y de los curcuminoides. Departamento de Bioquímica y Biología Molecular II, Instituto de Nutrición y Tecnología de Alimentos, Universidad de Granada. C/ Ramón y Cajal 4, 18071 Granada, España
- Tafoya, A. y García F. 1993. Colorantes. En: Biotecnología Alimentaria. México: Limusa. pp. 479-617
- Vega, A y Lemus, R. 2006. Modelado de la cinética de secado de la papaya chilena (*Vasconcellea pubescens*). Inf. Tecnol. (Online). Vol. 17, N°3 (Citado el 15/4/13). Disponible en: <http://www.scielo.cl/scielo.php>.

# ANEXOS

## ANEXO 1

### NORMA SANITARIA

Sobre calidad de harinas (R.D. N° 027-86 ITINTEC DG/D.N. 86-02-11. Lima-Perú)  
según resolución ministerial N° 664-1986-S.A./D.M. del 11 de febrero de 1986.  
Diario oficial el peruano.

Requisitos microbiológicos según norma técnica:

Mohos < 100 ufc

Levaduras < 1000 ufc

ufc : Unidades formadoras de colonias

Además debe cumplir con los requisitos mínimos, fijados en la tabla siguiente de acuerdo al tipo que pertenezca:

**Tabla 6: Requisitos mínimos de harinas**

Requisitos	Especial		Extra		Popular		Semi-integral		Integral	
	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Humedad %	-	15.00	-	15.00	-	15.00	-	15.00	-	15.00
Cenizas %	-	0.64	0.65	1.00	1.01	1.40	1.41	-	-	-
Acidez %	-	0.10	-	0.15	-	0.16	-	0.18	-	0.22

Fuente: ITINTEC (205.027-Harinas)

### **Requisitos generales de las harinas**

- Deberán estar libres de toda sustancia o cuerpo extraño a su naturaleza
- No podrá obtenerse a partir de granos fermentados o a partir de granos descompuestos como consecuencia del ataque de hongos, roedores o insectos.
- Deberá tener la consistencia de un polvo fluido en toda su masa excepto la integral y semi integral, sin grumos de ninguna clase (Considerando la compactación natural del envasado automático y de estibado)
- No se permitirá el comercio de aquellas que tengan el olor rancio, ácido o en general olor diferente al característico de la harina
- No tener mancha de aceite, kerosene o de cualquier otro producto extraño
- Podrá adicionarse bromato de potasio u otros productos similares aprobados para consumo humano como reguladores de fermentación, en proporción máxima de 5 g por 100 kg de harina.

## ANEXO 2: RESULTADOS DE LA CINÉTICA DE SECADO

Resultados de las corridas experimentales de secado de las muestras de Azafrán tratadas con 0 min de cocción, secados a una temperatura de 50°C y velocidades del aire de secado de 2.5 m/s, 3 m/s y 3.5 m/s

**Tabla 7: Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 0 min. de cocción, en el secador de bandejas a 50°C de temperatura y velocidad 2.5 m/s**

t	P1	PB	P2=P1-PB	(P2-S)/S	dY/dt (g agua/g A.S. min)	Ym (g agua/g A.S.)
Tiempo	Peso bandeja +Azafrán al tiempo t (g)	Peso de la bandeja	Peso Azafrán (g)	Humedad residual (g agua/g A.S)		
0	1750	1536.4	213.6	3.84		
10	1736.3	1536.4	199.9	3.53	0.031	3.69
20	1722.6	1536.4	186.2	3.22	0.031	3.38
30	1708.8	1536.4	172.4	2.91	0.031	3.06
40	1695.2	1536.4	158.8	2.60	0.031	2.75
50	1681.7	1536.4	145.3	2.29	0.031	2.45
60	1668	1536.4	131.6	1.98	0.031	2.14
70	1654.3	1536.4	117.9	1.67	0.031	1.83
80	1641.9	1536.4	105.5	1.39	0.028	1.53
90	1630.5	1536.4	94.1	1.13	0.026	1.26
100	1620.4	1536.4	84	0.90	0.023	1.02
110	1611.8	1536.4	75.4	0.71	0.019	0.81
120	1605.3	1536.4	68.9	0.56	0.015	0.64
130	1600.4	1536.4	64	0.45	0.011	0.51
140	1597.1	1536.4	60.7	0.38	0.007	0.41
150	1595.7	1536.4	59.3	0.34	0.003	0.36
160	1595.3	1536.4	58.9	0.33	0.001	0.34
170	1595	1536.4	58.6	0.33	0.001	0.33

PESO BANDEJA + MUESTRA (g)	1750
PESO NETO MUESTRA (g)	213.6
PESO DE LA BANDEJA VACÍA (g)	1536.4
PESO SECO	34.12

**Tabla 8: Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 0 min de cocción, en el secador de bandejas a 50°C de temperatura y velocidad 3 m/s**

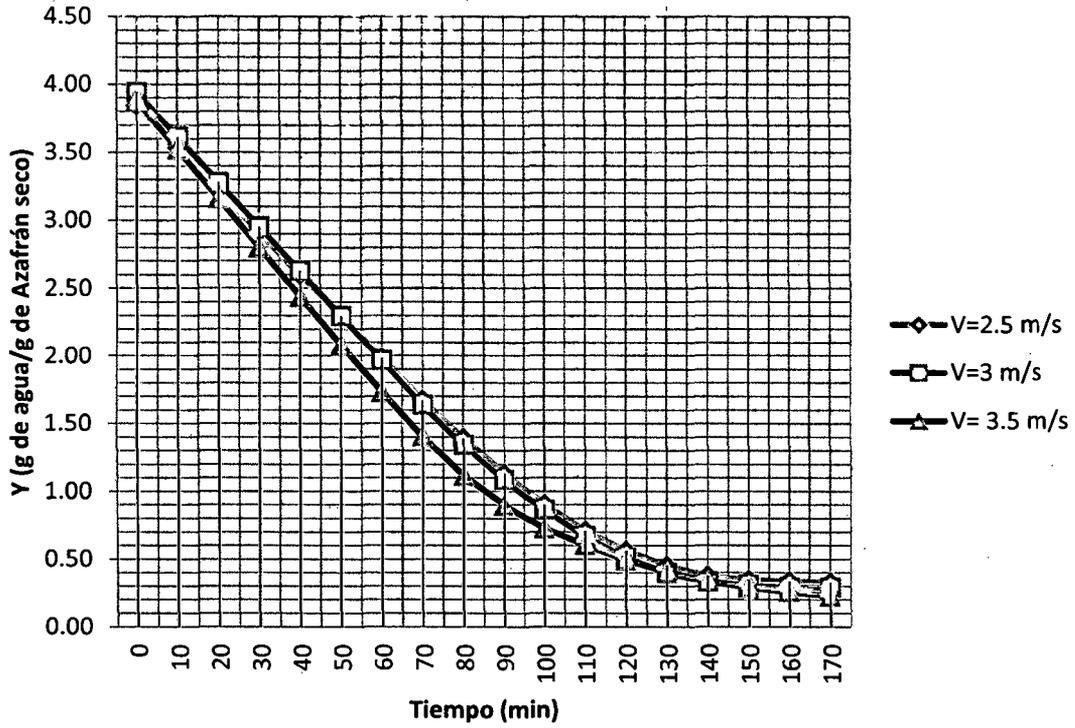
T	P1	PB	P2=P1-PB	(P2-S)/S	dY/dt (g agua/g A.S. min)	Ym (g agua/g A.S.)
Tiempo	Peso bandeja +Azafrán al tiempo t (g)	Peso de la bandeja	Peso Azafrán (g)	Humedad residual (g agua/g A.S)		
0	1780	1536.4	243.6	3.94		
10	1763.8	1536.4	227.4	3.61	0.033	3.78
20	1747.4	1536.4	211	3.28	0.033	3.45
30	1731.3	1536.4	194.9	2.95	0.033	3.12
40	1715.2	1536.4	178.8	2.63	0.033	2.79
50	1698.9	1536.4	162.5	2.30	0.033	2.46
60	1682.7	1536.4	146.3	1.97	0.033	2.13
70	1666.4	1536.4	130	1.64	0.033	1.80
80	1651.9	1536.4	115.5	1.34	0.029	1.49
90	1639.1	1536.4	102.7	1.08	0.026	1.21
100	1628.2	1536.4	91.8	0.86	0.022	0.97
110	1618.7	1536.4	82.3	0.67	0.019	0.77
120	1610.9	1536.4	74.5	0.51	0.016	0.59
130	1605.3	1536.4	68.9	0.40	0.011	0.45
140	1602.1	1536.4	65.7	0.33	0.006	0.37
150	1600.9	1536.4	64.5	0.31	0.002	0.32
160	1600	1536.4	63.6	0.29	0.002	0.30
170	1600	1536.4	63.6	0.29	0.000	0.29

PESO BANDEJA + MUESTRA (g)	1780
PESO NETO MUESTRA (g)	243.6
PESO DE LA BANDEJA VACÍA (g)	1536.4
PESO SECO	49.3

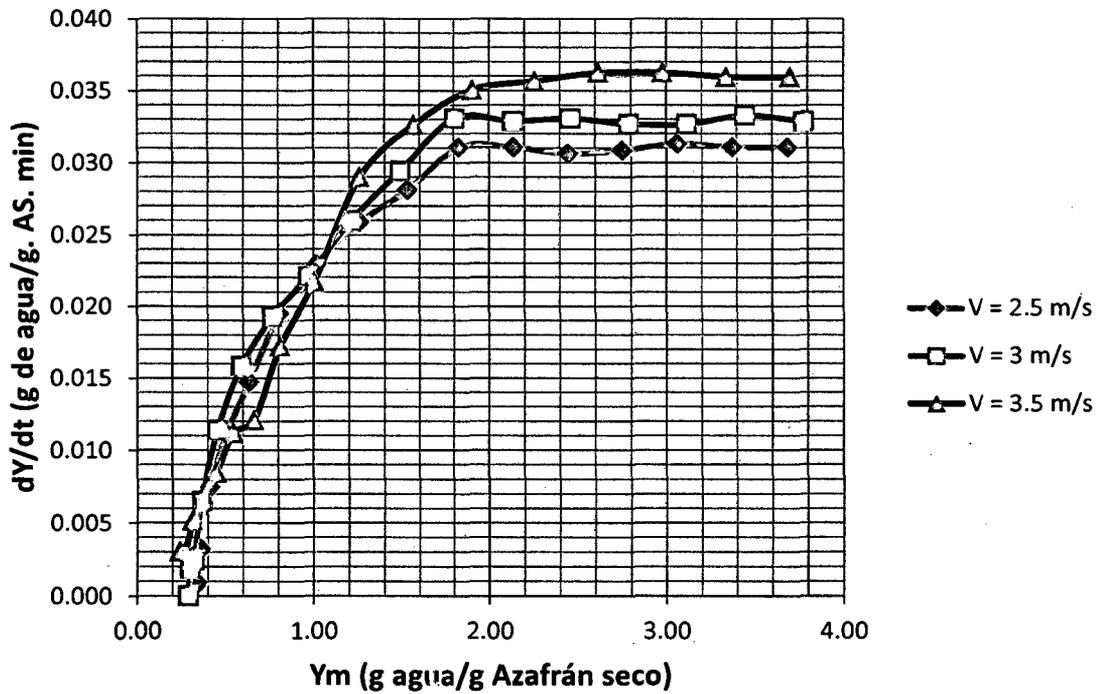
**Tabla 9: Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 0 min de cocción, en el secador de bandejas a 50°C de temperatura y velocidad 3.5 m/s**

t	P1	PB	P2=P1-PB	(P2-S)/S	dY/dt (g agua/g A.S. min)	Ym (g agua/ g A.S.)
Tiempo	Peso bandeja +Azafrán al tiempo t (g)	Peso de la bandeja	Peso Azafrán (g)	Humedad residual (g agua/g A.S)		
0	1698	1536.4	161.6	3.88		
10	1686.1	1536.4	149.7	3.52	0.036	3.70
20	1674.2	1536.4	137.8	3.16	0.036	3.34
30	1662.2	1536.4	125.8	2.80	0.036	2.98
40	1650.2	1536.4	113.8	2.44	0.036	2.62
50	1638.4	1536.4	102	2.08	0.036	2.26
60	1626.8	1536.4	90.4	1.73	0.035	1.90
70	1616	1536.4	79.6	1.40	0.033	1.57
80	1606.4	1536.4	70	1.11	0.029	1.26
90	1599.2	1536.4	62.8	0.90	0.022	1.00
100	1593.5	1536.4	57.1	0.72	0.017	0.81
110	1589.5	1536.4	53.1	0.60	0.012	0.66
120	1585.8	1536.4	49.4	0.49	0.011	0.55
130	1583	1536.4	46.6	0.41	0.008	0.45
140	1580.7	1536.4	44.3	0.34	0.007	0.37
150	1579	1536.4	42.6	0.29	0.005	0.31
160	1578	1536.4	41.6	0.26	0.003	0.27
170	1577	1536.4	40.6	0.23	0.003	0.24

PESO BANDEJA + MUESTRA (g)	1698
PESO NETO MUESTRA (g)	161.6
PESO DE LA BANDEJA VACÍA (g)	1536.4
PESO SECO	33.12



**Figura 13:** Humedad residual en función del tiempo ( $t = 0$ min,  $T = 50^\circ\text{C}$   $V_1=2.5$  m/s,  $V_2= 3$  m/s y  $V_3= 3.5$  m/s)



**Figura 14:** Variación de la humedad respecto al tiempo en función de la humedad residual ( $t = 0$ min,  $T = 50^\circ\text{C}$   $V_1=2.5$  m/s,  $V_2= 3$  m/s y  $V_3= 3.5$  m/s)

Resultados de las corridas experimentales de secado de las muestras de Azafrán tratadas con 0 min de cocción, secados a una temperatura de 55°C y velocidades del aire de secado de 2.5 m/s, 3 m/s y 3.5 m/s

**Tabla 10: Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 0 min de cocción, en el secador de bandejas a 55°C de temperatura y velocidad 2.5 m/s.**

t	P1	PB	P2=P1-PB	(P2-S)/S	dY/dt (g agua/g A.S. min)	Ym (g agua/ g A.S.)
Tiempo	Peso bandeja +Azafrán al tiempo t (g)	Peso de la bandeja	Peso Azafrán (g)	Humedad residual (g agua/g A.S.)		
0	1861.7	1536.4	325.3	4.08		
10	1838.7	1536.4	302.3	3.72	0.036	3.90
20	1815.9	1536.4	279.5	3.37	0.036	3.54
30	1793	1536.4	256.6	3.01	0.036	3.19
40	1770.1	1536.4	233.7	2.65	0.036	2.83
50	1747.3	1536.4	210.9	2.29	0.036	2.47
60	1724.4	1536.4	188	1.94	0.036	2.12
70	1701.2	1536.4	164.8	1.57	0.036	1.76
80	1681	1536.4	144.6	1.26	0.032	1.42
90	1666.2	1536.4	129.8	1.03	0.023	1.14
100	1654	1536.4	117.6	0.84	0.019	0.93
110	1644.2	1536.4	107.8	0.68	0.015	0.76
120	1636.6	1536.4	100.2	0.57	0.012	0.62
130	1630	1536.4	93.6	0.46	0.010	0.51
140	1626	1536.4	89.6	0.40	0.006	0.43
150	1623	1536.4	86.6	0.35	0.005	0.38
160	1621.1	1536.4	84.7	0.32	0.003	0.34
170	1620	1536.4	83.6	0.31	0.002	0.31
180	1619.3	1536.4	82.9	0.30	0.001	0.30
190	1619	1536.4	82.6	0.29	0.000	0.29
200	1619	1536.4	82.6	0.29	0.000	0.29

PESO BANDEJA + MUESTRA (g)	1861.7
PESO NETO MUESTRA (g)	325.3
PESO DE LA BANDEJA VACÍA (g)	1536.4
PESO SECO	64.01

**Tabla 11: Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 0 min de cocción, en el secador de bandejas a 55°C de temperatura y velocidad**

**3 m/s**

t	P1	PB	P2=P1-PB	(P2-S)/S	dY/dt (g agua/g A.S. min)	Ym (g agua/g A.S.)
Tiempo	Peso bandeja +Azafrán al tiempo t (g)	Peso de la bandeja	Peso Azafrán (g)	Humedad residual (g agua/g A.S)		
0	1772	1536.4	235.6	4.31		
10	1755.7	1536.4	219.3	3.94	0.037	4.13
20	1739.5	1536.4	203.1	3.58	0.037	3.76
30	1723.1	1536.4	186.7	3.21	0.037	3.39
40	1706.9	1536.4	170.5	2.84	0.037	3.03
50	1690.6	1536.4	154.2	2.48	0.037	2.66
60	1674	1536.4	137.6	2.10	0.037	2.29
70	1657.4	1536.4	121	1.73	0.037	1.91
80	1642.1	1536.4	105.7	1.38	0.034	1.56
90	1628.5	1536.4	92.1	1.08	0.031	1.23
100	1617.1	1536.4	80.7	0.82	0.026	0.95
110	1609.1	1536.4	72.7	0.64	0.018	0.73
120	1603	1536.4	66.6	0.50	0.014	0.57
130	1599.1	1536.4	62.7	0.41	0.009	0.46
140	1596	1536.4	59.6	0.34	0.007	0.38
150	1594	1536.4	57.6	0.30	0.005	0.32
160	1592.5	1536.4	56.1	0.26	0.003	0.28
170	1592	1536.4	55.6	0.25	0.001	0.26

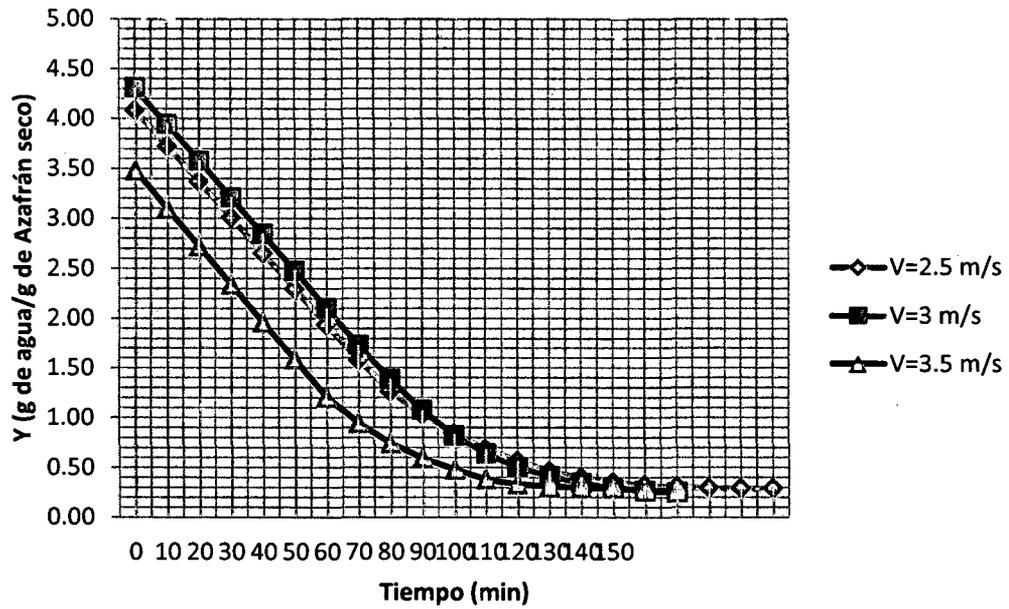
PESO BANDEJA + MUESTRA (g)	1772
PESO NETO MUESTRA (g)	235.6
PESO DE LA BANDEJA VACÍA (g)	1536.4
PESO SECO	44.36

**Tabla 12: Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 0 min de cocción, en el secador de bandejas a 55°C de temperatura y velocidad**

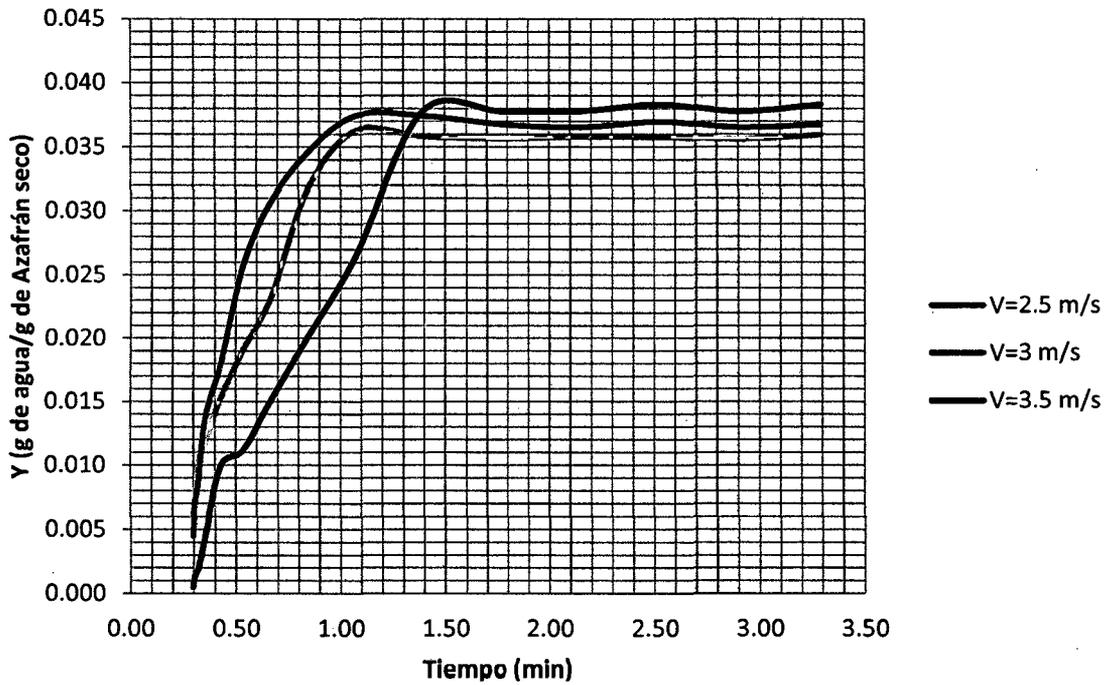
**3.5 m/s**

t	P1	PB	P2=P1-PB	(P2-S)/S	dY/dt (g agua/g A.S. min)	Ym (g agua/ g A.S.)
Tiempo	Peso bandeja +Azafrán al tiempo t (g)	Peso de la bandeja	Peso Azafrán (g)	Humedad residual (g agua/g A.S)		
0	1801	1536.4	264.6	3.48		
10	1778.4	1536.4	242	3.10	0.038	3.29
20	1756.1	1536.4	219.7	2.72	0.038	2.91
30	1733.5	1536.4	197.1	2.34	0.038	2.53
40	1711.2	1536.4	174.8	1.96	0.038	2.15
50	1688.9	1536.4	152.5	1.58	0.038	1.77
60	1666.6	1536.4	130.2	1.21	0.038	1.39
70	1651	1536.4	114.6	0.94	0.026	1.07
80	1639.2	1536.4	102.8	0.74	0.020	0.84
90	1630.3	1536.4	93.9	0.59	0.015	0.67
100	1623.7	1536.4	87.3	0.48	0.011	0.53
110	1617.8	1536.4	81.4	0.38	0.010	0.43
120	1615	1536.4	78.6	0.33	0.005	0.36
130	1613.8	1536.4	77.4	0.31	0.002	0.32
140	1613	1536.4	76.6	0.30	0.001	0.30
150	1612.7	1536.4	76.3	0.29	0.001	0.29
160	1611.3	1536.4	74.9	0.27	0.002	0.28
170	1611	1536.4	74.6	0.26	0.001	0.27

PESO BANDEJA + MUESTRA (g)	1801
PESO NETO MUESTRA (g)	264.6
PESO DE LA BANDEJA VACÍA (g)	1536.4
PESO SECO	59.04



**Figura 15:** Humedad residual en función del tiempo ( $t = 0\text{min}$ ,  $T = 55^\circ\text{C}$   $V_1=2.5$  m/s,  $V_2= 3$  m/s y  $V_3= 3.5$  m/s)



**Figura 16:** Variación de la humedad respecto al tiempo en función de la humedad residual ( $t = 0\text{min}$ ,  $T = 55^\circ\text{C}$   $V_1=2.5$  m/s,  $V_2= 3$  m/s y  $V_3= 3.5$  m/s)

Resultados de las corridas experimentales de secado de las muestras de Azafrán tratadas con 0 min de cocción, secados a una temperatura de 60°C y velocidades del aire de secado de 2.5 m/s, 3 m/s y 3.5 m/s

**Tabla 13: Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 0 min de cocción, en el secador de bandejas a 60°C de temperatura y velocidad 2.5 m/s**

t	P1	PB	P2=P1-PB	(P2-S)/S	dY/dt (g agua/g A.S. min)	Ym (g agua/ g A.S.)
Tiempo	Peso bandeja +Azafrán al tiempo t (g)	Peso de la bandeja	Peso Azafrán (g)	Humedad residual (g agua/g A.S)		
0	1780.1	1536.4	243.7	3.72		
10	1761.6	1536.4	225.2	3.36	0.036	3.54
20	1743.2	1536.4	206.8	3.01	0.036	3.19
30	1724.6	1536.4	188.2	2.65	0.036	2.83
40	1705.9	1536.4	169.5	2.28	0.036	2.47
50	1687.3	1536.4	150.9	1.92	0.036	2.10
60	1668.9	1536.4	132.5	1.57	0.036	1.75
70	1652.4	1536.4	116	1.25	0.032	1.41
80	1637.7	1536.4	101.3	0.96	0.028	1.11
90	1625.7	1536.4	89.3	0.73	0.023	0.85
100	1616.6	1536.4	80.2	0.55	0.018	0.64
110	1609.9	1536.4	73.5	0.42	0.013	0.49
120	1606.7	1536.4	70.3	0.36	0.006	0.39
130	1605	1536.4	68.6	0.33	0.003	0.35
140	1604	1536.4	67.6	0.31	0.002	0.32
150	1603.4	1536.4	67	0.30	0.001	0.30
160	1603	1536.4	66.6	0.29	0.001	0.29
170	1601	1536.4	64.6	0.25	0.004	0.27

PESO BANDEJA + MUESTRA (g)		1780.1
PESO NETO MUESTRA (g)		243.7
PESO DE LA BANDEJA VACÍA (g)		1536.4
PESO SECO		51.61

**Tabla 14: Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 0 min de cocción, en el secador de bandejas a 60°C de temperatura y velocidad 3 m/s**

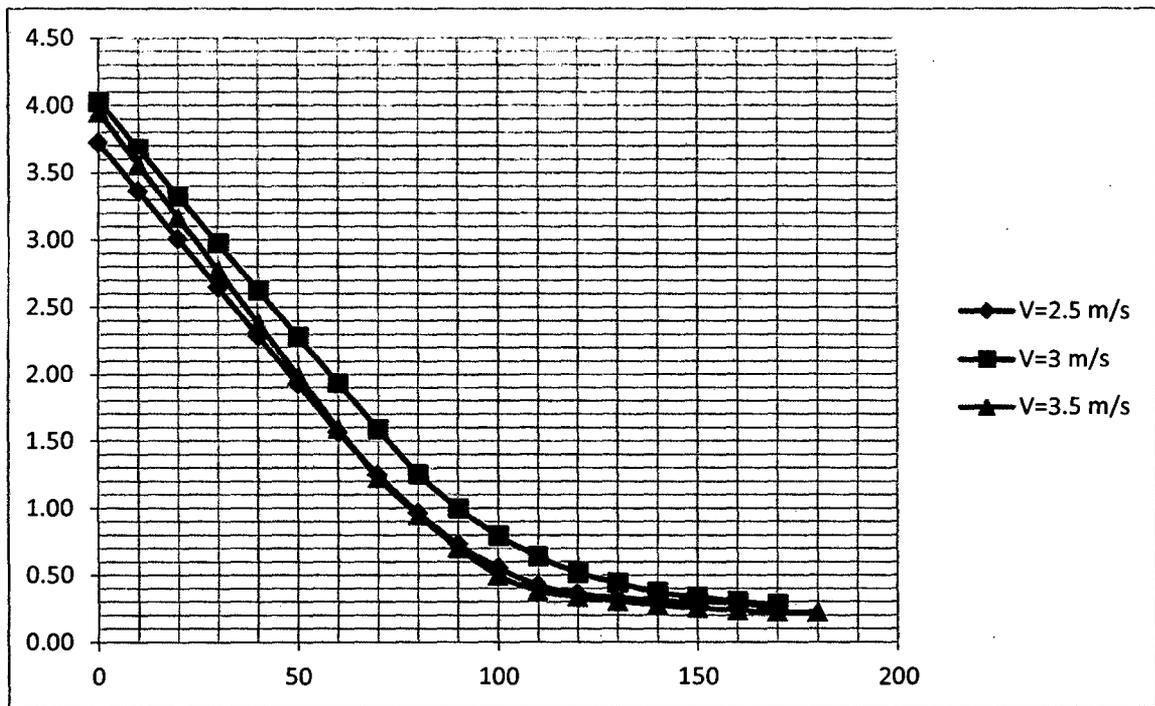
t	P1	PB	P2=P1-PB	(P2-S)/S	dY/dt (g agua/g A.S. min)	Ym (g agua/ g A.S.)
Tiempo	Peso bandeja +Azafrán al tiempo t (g)	Peso de la bandeja	Peso Azafrán (g)	Humedad residual (g agua/g A.S)		
0	1810	1536.4	273.6	4.03		
10	1791	1536.4	254.6	3.68	0.035	3.85
20	1771.7	1536.4	235.3	3.32	0.035	3.50
30	1752.8	1536.4	216.4	2.98	0.035	3.15
40	1733.7	1536.4	197.3	2.62	0.035	2.80
50	1714.9	1536.4	178.5	2.28	0.035	2.45
60	1696	1536.4	159.6	1.93	0.035	2.11
70	1677.1	1536.4	140.7	1.58	0.035	1.76
80	1659	1536.4	122.6	1.25	0.033	1.42
90	1645.1	1536.4	108.7	1.00	0.026	1.12
100	1634.1	1536.4	97.7	0.79	0.020	0.90
110	1625.6	1536.4	89.2	0.64	0.016	0.72
120	1618.9	1536.4	82.5	0.52	0.012	0.58
130	1614.8	1536.4	78.4	0.44	0.008	0.48
140	1611	1536.4	74.6	0.37	0.007	0.41
150	1609	1536.4	72.6	0.33	0.004	0.35
160	1607.3	1536.4	70.9	0.30	0.003	0.32
170	1606	1536.4	69.6	0.28	0.002	0.29

PESO BANDEJA + MUESTRA (g)	1810
PESO NETO MUESTRA (g)	273.6
PESO DE LA BANDEJA VACÍA (g)	1536.4
PESO SECO	54.44

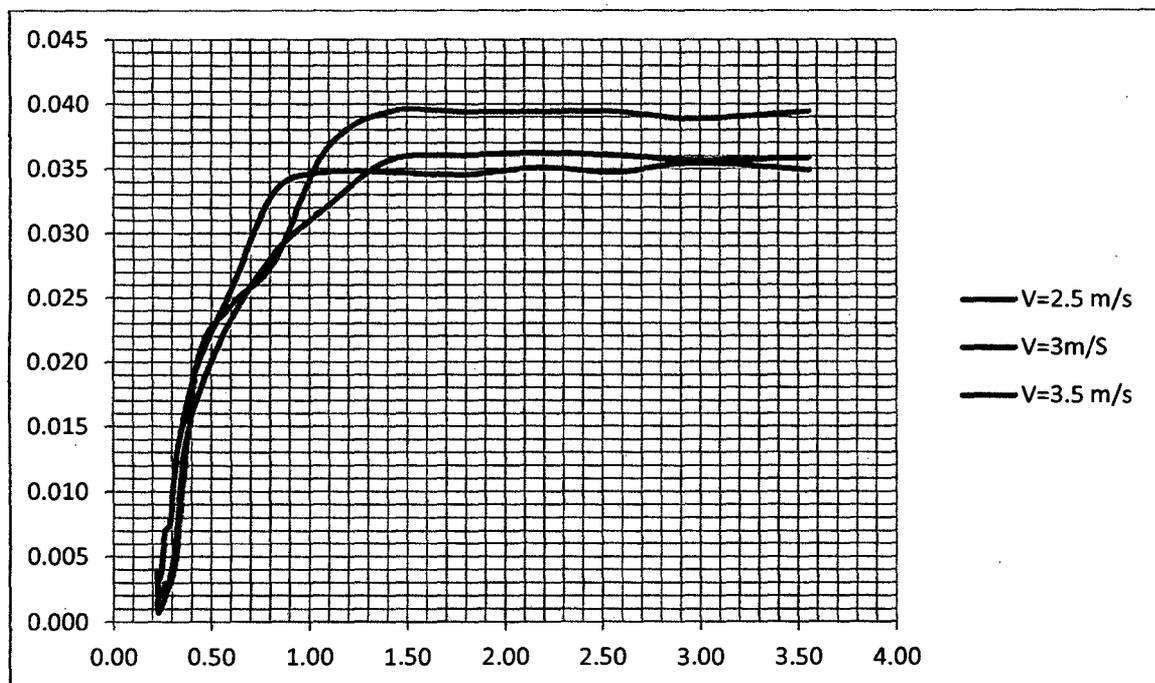
**Tabla 15: Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 0 min de cocción, en el secador de bandejas a 60°C de temperatura y velocidad 3.5 m/s**

t	P1	PB	P2=P1-PB	(P2-S)/S	dY/dt (g agua/g A.S. min)	Ym (g agua/ g A.S.)
Tiempo	Peso bandeja +Azafrán al tiempo t (g)	Peso de la bandeja	Peso Azafrán (g)	Humedad residual (g agua/g A.S)		
0	1721	1536.4	184.6	3.95		
10	1706.3	1536.4	169.9	3.55	0.039	
20	1691.8	1536.4	155.4	3.17	0.039	3.56
30	1677.1	1536.4	140.7	2.77	0.039	2.97
40	1662.4	1536.4	126	2.38	0.039	2.58
50	1647.7	1536.4	111.3	1.98	0.039	2.18
60	1633	1536.4	96.6	1.59	0.039	1.79
70	1619.4	1536.4	83	1.23	0.036	1.41
80	1609	1536.4	72.6	0.95	0.028	1.09
90	1599.9	1536.4	63.5	0.70	0.024	0.82
100	1592.2	1536.4	55.8	0.50	0.021	0.60
110	1588	1536.4	51.6	0.38	0.011	0.44
120	1586.2	1536.4	49.8	0.34	0.005	0.36
130	1585.1	1536.4	48.7	0.31	0.003	0.32
140	1584	1536.4	47.6	0.28	0.003	0.29
150	1583.2	1536.4	46.8	0.25	0.002	0.27
160	1582.5	1536.4	46.1	0.24	0.002	0.25
170	1582	1536.4	45.6	0.22	0.001	0.23
180	1582	1536.4	45.6	0.22	0.000	0.22

PESO BANDEJA + MUESTRA (g)		1721
PESO NETO MUESTRA (g)		184.6
PESO DE LA BANDEJA VACÍA (g)		1536.4
PESO SECO		37.3



**Figura 17:** Humedad residual en función del tiempo ( $t = 0\text{min}$ ,  $T = 60^\circ\text{C}$   $V_1=2.5$  m/s,  $V_2= 3$  m/s y  $V_3= 3.5$  m/s)



**Figura 18:** Variación de la humedad respecto al tiempo en función de la humedad residual ( $t = 0\text{min}$ ,  $T = 60^\circ\text{C}$   $V_1=2.5$  m/s,  $V_2= 3$  m/s y  $V_3= 3.5$  m/s)

Resultados de las corridas experimentales de secado de las muestras de Azafrán tratadas con 30 min de cocción, secados a una temperatura de 50°C y velocidades del aire de secado de 2.5 m/s, 3 m/s y 3.5 m/s

**Tabla 16: Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 30 min de cocción, en el secador de bandejas a 50°C de temperatura y velocidad 2.5 m/s**

t	P1	PB	P2=P1-PB	(P2-S)/S	dY/dt (g agua/g A.S. min)	Ym (g agua/ g A.S.)
Tiempo	Peso bandeja +Azafrán al tiempo t (g)	Peso de la bandeja	Peso Azafrán (g)	Humedad residual (g agua/g A.S)		
0	1832	1536.4	295.6	4.49		
10	1812	1536.4	275.6	4.12	0.037	4.31
20	1792.2	1536.4	255.8	3.75	0.037	3.94
30	1772.1	1536.4	235.7	3.38	0.037	3.57
40	1752.2	1536.4	215.8	3.01	0.037	3.20
50	1732.3	1536.4	195.9	2.64	0.037	2.83
60	1712.6	1536.4	176.2	2.28	0.037	2.46
70	1695.4	1536.4	159	1.96	0.032	2.12
80	1680	1536.4	143.6	1.67	0.029	1.81
90	1666	1536.4	129.6	1.41	0.026	1.54
100	1654.4	1536.4	118	1.19	0.022	1.30
110	1644	1536.4	107.6	1.00	0.019	1.10
120	1636.3	1536.4	99.9	0.86	0.014	0.93
130	1629.2	1536.4	92.8	0.72	0.013	0.79
140	1623	1536.4	86.6	0.61	0.012	0.67
150	1618	1536.4	81.6	0.52	0.009	0.56
160	1614	1536.4	77.6	0.44	0.007	0.48
170	1611	1536.4	74.6	0.39	0.006	0.41
180	1609	1536.4	72.6	0.35	0.004	0.37
190	1608	1536.4	71.6	0.33	0.002	0.34

PESO BANDEJA + MUESTRA (g)		1832
PESO NETO MUESTRA (g)		295.6
PESO DE LA BANDEJA VACÍA (g)		1536.4
PESO SECO		53.8

**Tabla 17: Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 30 min de cocción, en el secador de bandejas a 50°C de temperatura y velocidad 3 m/s**

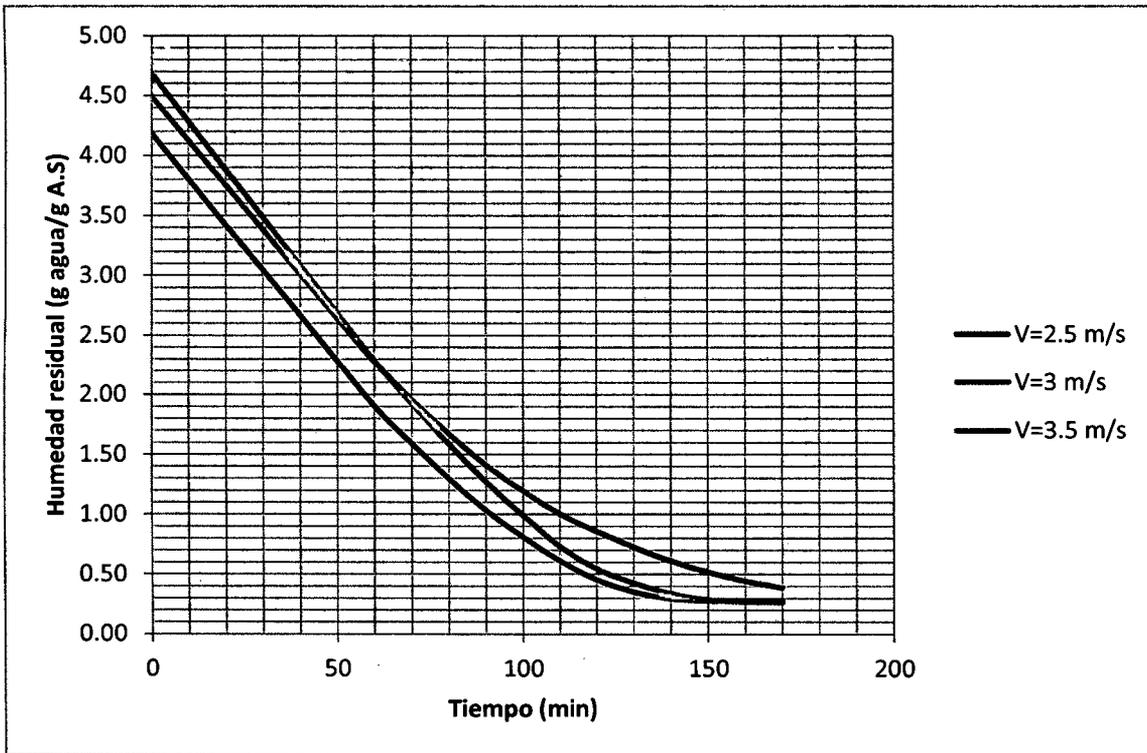
t	P1	PB	P2=P1-PB	(P2-S)/S	dY/dt (g agua/g A.S. min)	Ym (g agua/ g A.S.)
Tiempo	Peso bandeja +Azafrán al tiempo t (g)	Peso de la bandeja	Peso Azafrán (g)	Humedad residual (g agua/g A.S)		
0	1888	1536.4	351.6	4.18		
10	1862	1536.4	325.6	3.80	0.038	3.99
20	1836.1	1536.4	299.7	3.42	0.038	3.61
30	1810.6	1536.4	274.2	3.04	0.038	3.23
40	1785.1	1536.4	248.7	2.66	0.038	2.85
50	1759	1536.4	222.6	2.28	0.038	2.47
60	1733	1536.4	196.6	1.90	0.038	2.09
70	1712	1536.4	175.6	1.59	0.031	1.74
80	1692	1536.4	155.6	1.29	0.029	1.44
90	1674.1	1536.4	137.7	1.03	0.026	1.16
100	1659	1536.4	122.6	0.81	0.022	0.92
110	1645.6	1536.4	109.2	0.61	0.020	0.71
120	1635	1536.4	98.6	0.45	0.016	0.53
130	1628	1536.4	91.6	0.35	0.010	0.40
140	1624.3	1536.4	87.9	0.30	0.005	0.32
150	1623.1	1536.4	86.7	0.28	0.002	0.29
160	1623	1536.4	86.6	0.28	0.000	0.28
170	1623	1536.4	86.6	0.28	0.000	0.28

PESO BANDEJA + MUESTRA (g)		1888
PESO NETO MUESTRA (g)		351.6
PESO DE LA BANDEJA VACÍA (g)		1536.4
PESO SECO		67.86

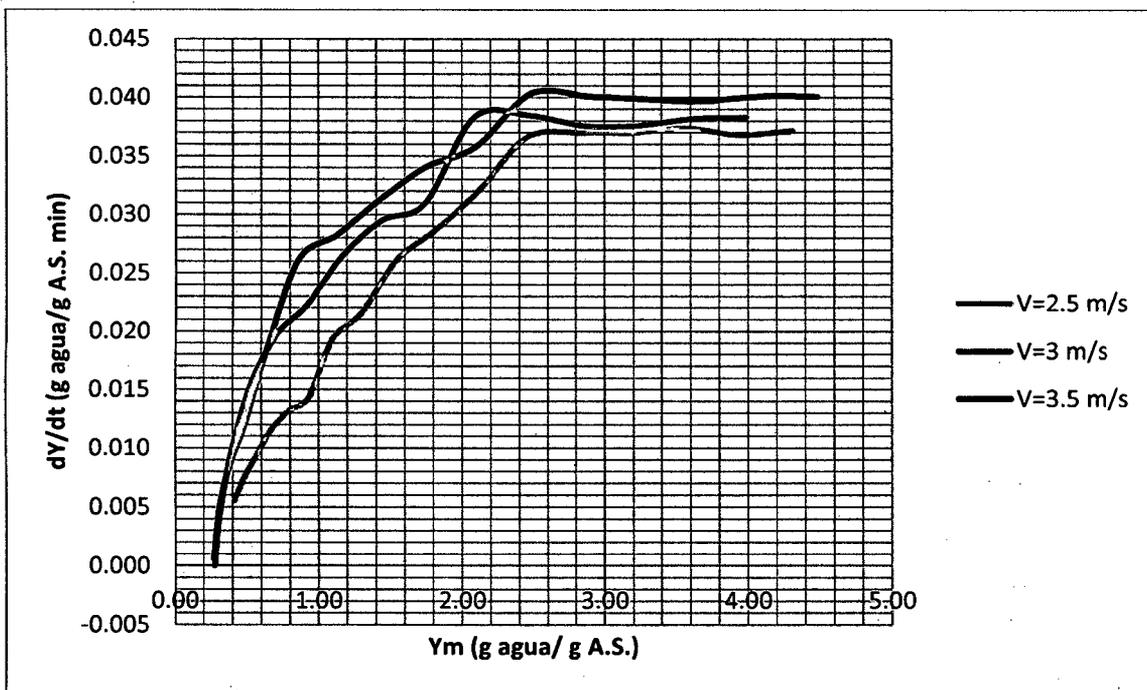
**Tabla 18: Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 30 min de cocción, en el secador de bandejas a 50°C de temperatura y velocidad 3.5 m/s**

t	P1	PB	P2=P1-PB	(P2-S)/S	dY/dt (g agua/g A.S. min)	Ym (g agua/ g A.S.)
Tiempo	Peso bandeja +Azafrán al tiempo t (g)	Peso de la bandeja	Peso Azafrán (g)	Humedad residual (g agua/g A.S)		
0	1800	1536.4	263.6	4.68		
10	1781.4	1536.4	245	4.28	0.040	4.48
20	1762.8	1536.4	226.4	3.88	0.040	4.08
30	1744.4	1536.4	208	3.48	0.040	3.68
40	1725.9	1536.4	189.5	3.08	0.040	3.28
50	1707.3	1536.4	170.9	2.68	0.040	2.88
60	1688.6	1536.4	152.2	2.28	0.040	2.48
70	1672	1536.4	135.6	1.92	0.036	2.10
80	1656.2	1536.4	119.8	1.58	0.034	1.75
90	1641.7	1536.4	105.3	1.27	0.031	1.43
100	1628.6	1536.4	92.2	0.99	0.028	1.13
110	1616.5	1536.4	80.1	0.73	0.026	0.86
120	1608	1536.4	71.6	0.54	0.018	0.64
130	1602.4	1536.4	66	0.42	0.012	0.48
140	1598.4	1536.4	62	0.34	0.009	0.38
150	1596	1536.4	59.6	0.28	0.005	0.31
160	1595.3	1536.4	58.9	0.27	0.002	0.28
170	1595	1536.4	58.6	0.26	0.001	0.27

PESO BANDEJA + MUESTRA (g)		1800
PESO NETO MUESTRA (g)		263.6
PESO DE LA BANDEJA VACÍA (g)		1536.4
PESO SECO		46.39



**Figura 19:** Humedad residual en función del tiempo ( $t = 30\text{min}$ ,  $T = 50^\circ\text{C}$   
 $V_1=2.5\text{ m/s}$ ,  $V_2= 3\text{ m/s}$  y  $V_3= 3.5\text{ m/s}$ )



**Figura 20:** Variación de la humedad respecto al tiempo en función de la  
 humedad residual ( $t = 30\text{ min}$ ,  $T = 50^\circ\text{C}$   $V_1=2.5\text{ m/s}$ ,  $V_2= 3\text{ m/s}$  y  $V_3= 3.5\text{ m/s}$ )

Resultados de las corridas experimentales de secado de las muestras de Azafrán tratadas con 30 min de cocción, secados a una temperatura de 55°C y velocidades del aire de secado de 2.5 m/s, 3 m/s y 3.5 m/s

**Tabla 19: Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 30 min de cocción, en el secador de bandejas a 55°C de temperatura y velocidad 2.5 m/s**

t	P1	PB	P2=P1-PB	(P2-S)/S	dY/dt (g agua/g A.S. min)	Ym (g agua/ g A.S.)
Tiempo	Peso bandeja +Azafrán al tiempo t (g)	Peso de la bandeja	Peso Azafrán (g)	Humedad residual (g agua/g A.S)		
0	1734	1536.4	197.6	4.26		
10	1719.1	1536.4	182.7	3.87	0.040	4.07
20	1704.1	1536.4	167.7	3.47	0.040	3.67
30	1689.1	1536.4	152.7	3.07	0.040	3.27
40	1674	1536.4	137.6	2.67	0.040	2.87
50	1659	1536.4	122.6	2.27	0.040	2.47
60	1644.1	1536.4	107.7	1.87	0.040	2.07
70	1629.9	1536.4	93.5	1.49	0.038	1.68
80	1617	1536.4	80.6	1.15	0.034	1.32
90	1607.2	1536.4	70.8	0.89	0.026	1.02
100	1599.4	1536.4	63	0.68	0.021	0.78
110	1594	1536.4	57.6	0.53	0.014	0.61
120	1590	1536.4	53.6	0.43	0.011	0.48
130	1587.1	1536.4	50.7	0.35	0.008	0.39
140	1585.6	1536.4	49.2	0.31	0.004	0.33
150	1585	1536.4	48.6	0.29	0.002	0.30
160	1585	1536.4	48.6	0.29	0.000	0.29
170	1585	1536.4	48.6	0.29	0.000	0.29

PESO BANDEJA + MUESTRA (g)		1734
PESO NETO MUESTRA (g)		197.6
PESO DE LA BANDEJA VACÍA (g)		1536.4
PESO SECO		37.54

**Tabla 20: Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 30 min de cocción, en el secador de bandejas a 55°C de temperatura y velocidad 3 m/s**

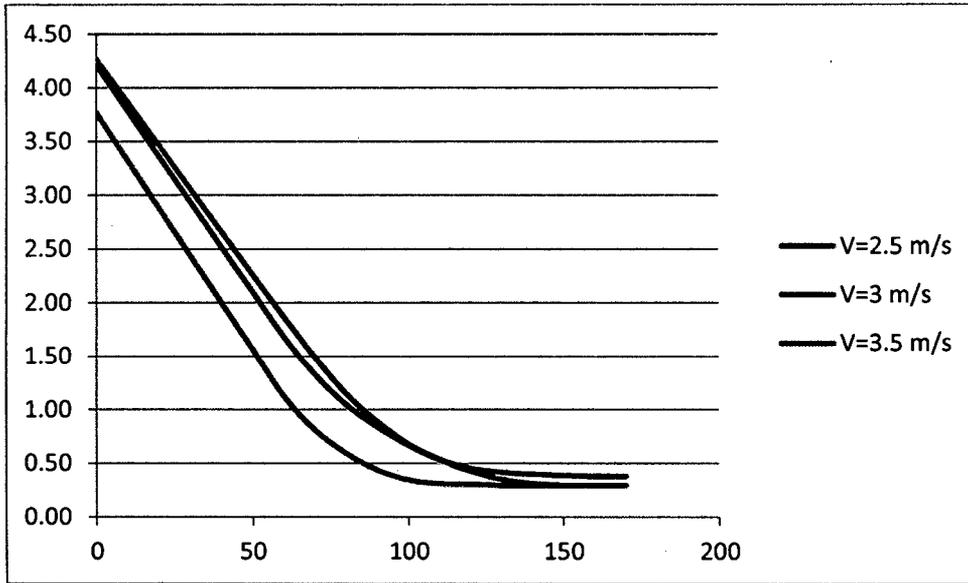
t	P1	PB	P2=P1-PB	(P2-S)/S	dY/dt (g agua/g A.S. min)	Ym (g agua/ g A.S.)
Tiempo	Peso bandeja +Azafrán al tiempo t (g)	Peso de la bandeja	Peso Azafrán (g)	Humedad residual (g agua/g A.S)		
0	1826	1536.4	289.6	4.21		
10	1802.4	1536.4	266	3.78	0.042	4.00
20	1779	1536.4	242.6	3.36	0.042	3.57
30	1755.7	1536.4	219.3	2.94	0.042	3.15
40	1732.1	1536.4	195.7	2.52	0.042	2.73
50	1708.9	1536.4	172.5	2.10	0.042	2.31
60	1685.3	1536.4	148.9	1.68	0.042	1.89
70	1665.6	1536.4	129.2	1.32	0.035	1.50
80	1650	1536.4	113.6	1.04	0.028	1.18
90	1638.4	1536.4	102	0.83	0.021	0.94
100	1629	1536.4	92.6	0.67	0.017	0.75
110	1621.5	1536.4	85.1	0.53	0.013	0.60
120	1617.1	1536.4	80.7	0.45	0.008	0.49
130	1615	1536.4	78.6	0.41	0.004	0.43
140	1614	1536.4	77.6	0.40	0.002	0.40
150	1613.4	1536.4	77	0.38	0.001	0.39
160	1613	1536.4	76.6	0.38	0.001	0.38
170	1613	1536.4	76.6	0.38	0.000	0.38

PESO BANDEJA + MUESTRA (g)		1826
PESO NETO MUESTRA (g)		289.6
PESO DE LA BANDEJA VACÍA (g)		1536.4
PESO SECO		55.6

**Tabla 21: Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 30 min de cocción, en el secador de bandejas a 55°C de temperatura y velocidad 3.5 m/s**

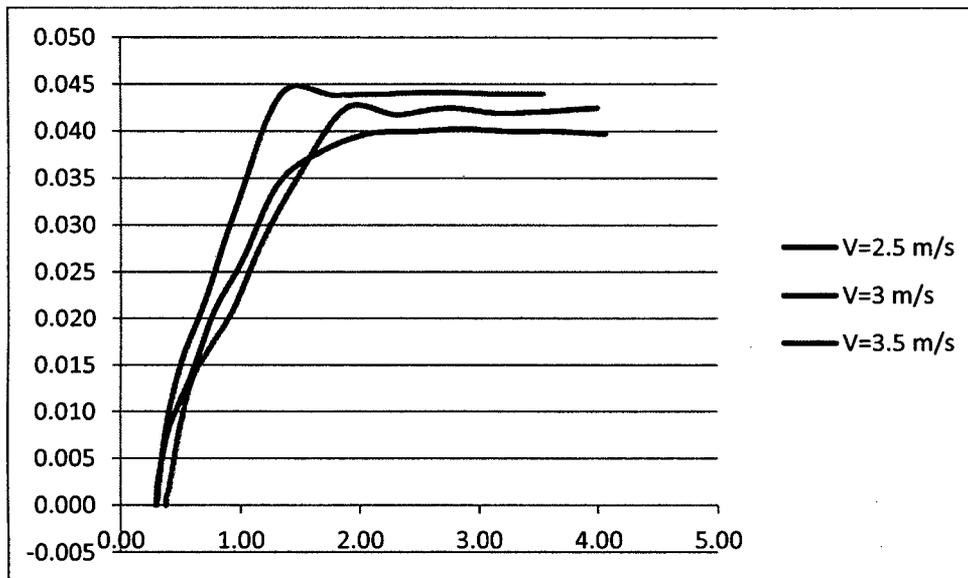
T	P1	PB	P2=P1-PB	(P2-S)/S	dY/dt (g agua/g A.S. min)	Ym (g agua/ g A.S.)
Tiempo	Peso bandeja +Azafrán al tiempo t (g)	Peso de la bandeja	Peso Azafrán (g)	Humedad residual (g agua/g A.S)		
0	1844	1536.4	307.6	3.76		
10	1815.6	1536.4	279.2	3.32	0.044	3.54
20	1787.2	1536.4	250.8	2.88	0.044	3.10
30	1758.7	1536.4	222.3	2.44	0.044	2.66
40	1730.3	1536.4	193.9	2.00	0.044	2.22
50	1702	1536.4	165.6	1.56	0.044	1.78
60	1673.6	1536.4	137.2	1.12	0.044	1.34
70	1653.1	1536.4	116.7	0.81	0.032	0.97
80	1639.1	1536.4	102.7	0.59	0.022	0.70
90	1629.1	1536.4	92.7	0.43	0.015	0.51
100	1623.2	1536.4	86.8	0.34	0.009	0.39
110	1621	1536.4	84.6	0.31	0.003	0.33
120	1620.6	1536.4	84.2	0.30	0.001	0.31
130	1620	1536.4	83.6	0.29	0.001	0.30
140	1620	1536.4	83.6	0.29	0.000	0.29
150	1620	1536.4	83.6	0.29	0.000	0.29
160	1620	1536.4	83.6	0.29	0.000	0.29
170	1620	1536.4	83.6	0.29	0.000	0.29

PESO BANDEJA + MUESTRA (g)		1844
PESO NETO MUESTRA (g)		307.6
PESO DE LA BANDEJA VACÍA (g)		1536.4
PESO SECO		64.6



**Figura 21:** Humedad residual en función del tiempo ( $t = 30\text{min}$ ,  $T = 55^\circ\text{C}$

$V_1=2.5\text{ m/s}$ ,  $V_2= 3\text{ m/s}$  y  $V_3= 3.5\text{ m/s}$ )



**Figura 22:** Variación de la humedad respecto al tiempo en función de la

humedad residual ( $t = 30\text{ min}$ ,  $T = 55^\circ\text{C}$   $V_1=2.5\text{ m/s}$ ,  $V_2= 3\text{ m/s}$  y  $V_3= 3.5\text{ m/s}$ )

Resultados de las corridas experimentales de secado de las muestras de Azafrán tratadas con 30 min de cocción, secados a una temperatura de 60°C y velocidades del aire de secado de 2.5 m/s, 3 m/s y 3.5 m/s

**Tabla 22: Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 30 min de cocción, en el secador de bandejas a 60°C de temperatura y velocidad 2.5 m/s**

T	P1	PB	P2=P1-PB	(P2-S)/S	dY/dt (g agua/g A.S. min)	Ym (g agua/ g A.S.)
Tiempo	Peso bandeja +Azafrán al tiempo t (g)	Peso de la bandeja	Peso Azafrán (g)	Humedad residual (g agua/g A.S)		
0	1779	1536.4	242.6	4.18		
10	1759.9	1536.4	223.5	3.77	0.041	3.98
20	1740.8	1536.4	204.4	3.37	0.041	3.57
30	1721.7	1536.4	185.3	2.96	0.041	3.16
40	1702.4	1536.4	166	2.55	0.041	2.75
50	1683.2	1536.4	146.8	2.14	0.041	2.34
60	1664	1536.4	127.6	1.73	0.041	1.93
70	1646.7	1536.4	110.3	1.36	0.037	1.54
80	1632.7	1536.4	96.3	1.06	0.030	1.21
90	1621.2	1536.4	84.8	0.81	0.025	0.93
100	1612.1	1536.4	75.7	0.62	0.019	0.71
110	1605.9	1536.4	69.5	0.48	0.013	0.55
120	1601.9	1536.4	65.5	0.40	0.009	0.44
130	1598.5	1536.4	62.1	0.33	0.007	0.36
140	1596	1536.4	59.6	0.27	0.005	0.30
150	1595.1	1536.4	58.7	0.25	0.002	0.26
160	1595	1536.4	58.6	0.25	0.000	0.25
170	1595	1536.4	58.6	0.25	0.000	0.25

PESO BANDEJA + MUESTRA (g)		1779
PESO NETO MUESTRA (g)		242.6
PESO DE LA BANDEJA VACÍA (g)		1536.4
PESO SECO		46.82

**Tabla 23: Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 30 min de cocción, en el secador de bandejas a 60°C de temperatura y velocidad 3 m/s**

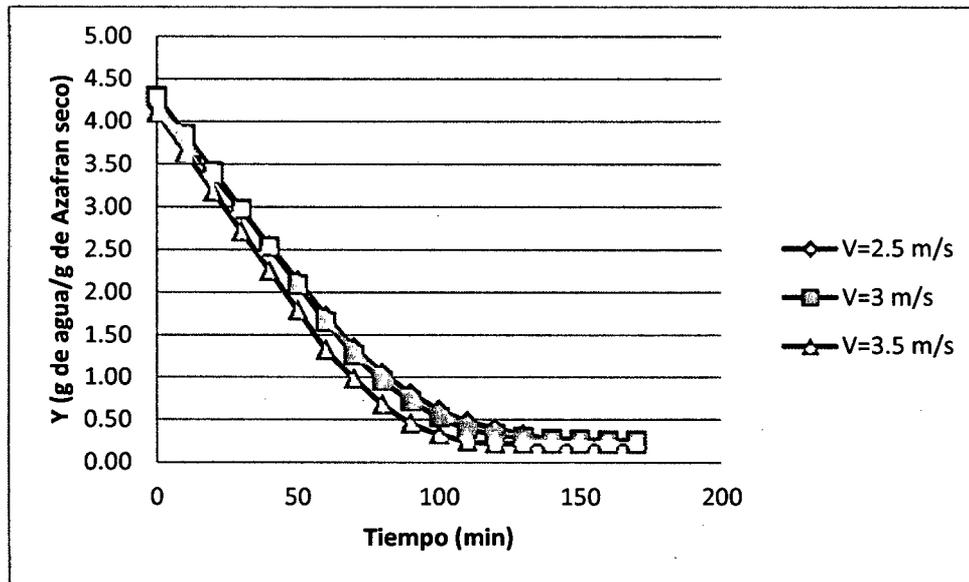
T	P1	PB	P2=P1-PB	(P2-S)/S	dY/dt (g agua/g A.S. min)	Ym (g agua/ g A.S.)
Tiempo	Peso bandeja +Azafrán al tiempo t (g)	Peso de la bandeja	Peso Azafrán (g)	Humedad residual (g agua/g A.S)		
0	1809	1536.4	272.6	4.29		
10	1786.3	1536.4	249.9	3.85	0.044	4.07
20	1763.6	1536.4	227.2	3.41	0.044	3.63
30	1741	1536.4	204.6	2.97	0.044	3.19
40	1718.2	1536.4	181.8	2.53	0.044	2.75
50	1695.5	1536.4	159.1	2.09	0.044	2.31
60	1673	1536.4	136.6	1.65	0.044	1.87
70	1653.1	1536.4	116.7	1.27	0.039	1.46
80	1637.2	1536.4	100.8	0.96	0.031	1.11
90	1625	1536.4	88.6	0.72	0.024	0.84
100	1615.2	1536.4	78.8	0.53	0.019	0.62
110	1608.1	1536.4	71.7	0.39	0.014	0.46
120	1604.9	1536.4	68.5	0.33	0.006	0.36
130	1603.1	1536.4	66.7	0.29	0.003	0.31
140	1602	1536.4	65.6	0.27	0.002	0.28
150	1601.6	1536.4	65.2	0.27	0.001	0.27
160	1601	1536.4	64.6	0.25	0.001	0.26
170	1601	1536.4	64.6	0.25	0.000	0.25

PESO BANDEJA + MUESTRA (g)		1809
PESO NETO MUESTRA (g)		272.6
PESO DE LA BANDEJA VACÍA (g)		1536.4
PESO SECO		51.52

**Tabla 24: Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 30 min de cocción, en el secador de bandejas a 60°C de temperatura y velocidad 3.5 m/s**

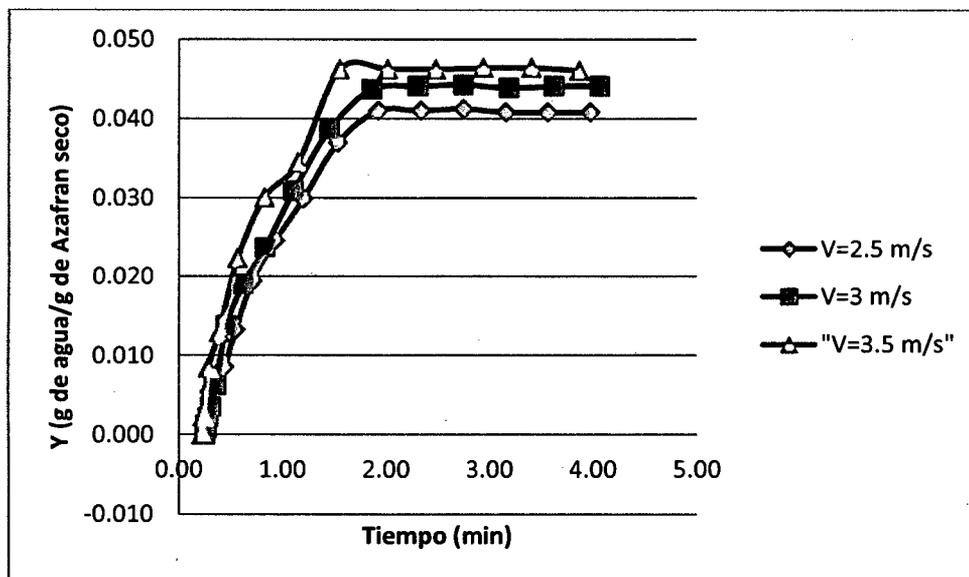
T	P1	PB	P2=P1-PB	(P2-S)/S	dY/dt (g agua/g A.S. min)	Ym (g agua/ g A.S.)
Tiempo	Peso bandeja +Azafrán al tiempo t (g)	Peso de la bandeja	Peso Azafrán (g)	Humedad residual (g agua/g A.S)		
0	1852	1536.4	315.6	4.10		
10	1823.5	1536.4	287.1	3.64	0.046	3.87
20	1794.8	1536.4	258.4	3.18	0.046	3.41
30	1766.1	1536.4	229.7	2.71	0.046	2.95
40	1737.5	1536.4	201.1	2.25	0.046	2.48
50	1708.9	1536.4	172.5	1.79	0.046	2.02
60	1680.3	1536.4	143.9	1.33	0.046	1.56
70	1659	1536.4	122.6	0.98	0.034	1.15
80	1640.4	1536.4	104	0.68	0.030	0.83
90	1626.6	1536.4	90.2	0.46	0.022	0.57
100	1618.6	1536.4	82.2	0.33	0.013	0.39
110	1613.4	1536.4	77	0.24	0.008	0.29
120	1612	1536.4	75.6	0.22	0.002	0.23
130	1612	1536.4	75.6	0.22	0.000	0.22
140	1612	1536.4	75.6	0.22	0.000	0.22
150	1612	1536.4	75.6	0.22	0.000	0.22
160	1612	1536.4	75.6	0.22	0.000	0.22
170	1612	1536.4	75.6	0.22	0.000	0.22

PESO BANDEJA + MUESTRA (g)		1852
PESO NETO MUESTRA (g)		315.6
PESO DE LA BANDEJA VACÍA (g)		1536.4
PESO SECO		61.86



**Figura 23:** Humedad residual en función del tiempo ( $t = 30\text{min}$ ,  $T = 60^\circ\text{C}$

$V_1=2.5\text{ m/s}$ ,  $V_2= 3\text{ m/s}$  y  $V_3= 3.5\text{ m/s}$ )



**Figura 24:** Variación de la humedad respecto al tiempo en función de la

humedad residual ( $t = 30\text{ min}$ ,  $T = 60^\circ\text{C}$   $V_1=2.5\text{ m/s}$ ,  $V_2= 3\text{ m/s}$  y  $V_3= 3.5\text{ m/s}$ )

Resultados de las corridas experimentales de secado de las muestras de Azafrán tratadas con 60 min de cocción, secados a una temperatura de 50°C y velocidades del aire de secado de 2.5 m/s, 3 m/s y 3.5 m/s

**Tabla 25: Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 60 min de cocción, en el secador de bandejas a 50°C de temperatura y velocidad 2.5 m/s**

T	P1	PB	P2=P1-PB	(P2-S)/S		
Tiempo	Peso bandeja +Azafrán al tiempo t (g)	Peso de la bandeja	Peso Azafrán (g)	Humedad residual (g agua/g A.S)	dY/dt (g agua/g A.S. min)	Ym (g agua/ g A.S.
0	1674.1	1536.4	137.7	4.08		
10	1661.1	1536.4	124.7	3.60	0.048	3.84
20	1648.2	1536.4	111.8	3.13	0.048	3.36
30	1635.2	1536.4	98.8	2.65	0.048	2.89
40	1622.3	1536.4	85.9	2.17	0.048	2.41
50	1609.3	1536.4	72.9	1.69	0.048	1.93
60	1599	1536.4	62.6	1.31	0.038	1.50
70	1590	1536.4	53.6	0.98	0.033	1.14
80	1582	1536.4	45.6	0.68	0.030	0.83
90	1577	1536.4	40.6	0.50	0.018	0.59
100	1573	1536.4	36.6	0.35	0.015	0.42
110	1571	1536.4	34.6	0.28	0.007	0.31
120	1570.4	1536.4	34	0.25	0.002	0.27
130	1570	1536.4	33.6	0.24	0.001	0.25
140	1570	1536.4	33.6	0.24	0.000	0.24
150	1570	1536.4	33.6	0.24	0.000	0.24
160	1570	1536.4	33.6	0.24	0.000	0.24
170	1570	1536.4	33.6	0.24	0.000	0.24

PESO BANDEJA + MUESTRA (g)	1674.1
PESO NETO MUESTRA (g)	137.7
PESO DE LA BANDEJA VACÍA (g)	1536.4
PESO SECO	27.1

**Tabla 26: Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 60 min de cocción, en el secador de bandejas a 50°C de temperatura y velocidad 3 m/s**

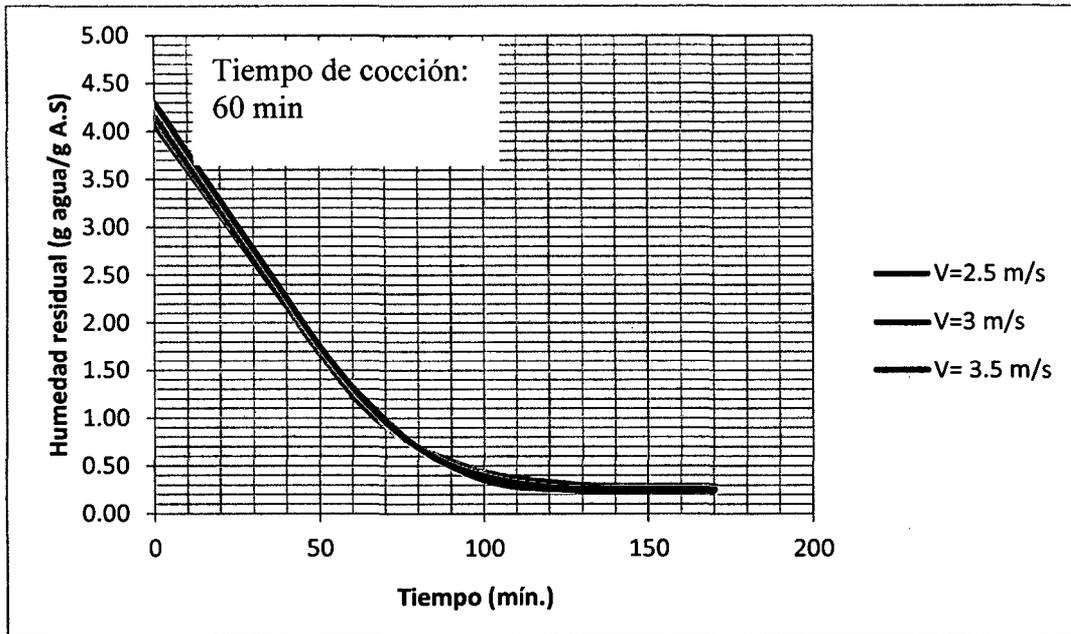
T	P1	PB	P2=P1-PB	(P2-S)/S		
Tiempo	Peso bandeja +Azafrán al tiempo t (g)	Peso de la bandeja	Peso Azafrán (g)	Humedad residual (g agua/g A.S)	dY/dt (g agua/g A.S. min)	Ym (g agua/ g A.S.
0	1802	1536.4	265.6	4.15		
10	1776.4	1536.4	240	3.66	0.050	3.91
20	1750.8	1536.4	214.4	3.16	0.050	3.41
30	1725.2	1536.4	188.8	2.66	0.050	2.91
40	1699.6	1536.4	163.2	2.17	0.050	2.42
50	1674	1536.4	137.6	1.67	0.050	1.92
60	1651	1536.4	114.6	1.22	0.045	1.45
70	1634.4	1536.4	98	0.90	0.032	1.06
80	1623.7	1536.4	87.3	0.69	0.021	0.80
90	1616.4	1536.4	80	0.55	0.014	0.62
100	1610.5	1536.4	74.1	0.44	0.011	0.50
110	1607	1536.4	70.6	0.37	0.007	0.40
120	1605	1536.4	68.6	0.33	0.004	0.35
130	1603.4	1536.4	67	0.30	0.003	0.32
140	1603	1536.4	66.6	0.29	0.001	0.30
150	1603	1536.4	66.6	0.29	0.000	0.29
160	1603	1536.4	66.6	0.29	0.000	0.29
170	1603	1536.4	66.6	0.29	0.000	0.29

PESO BANDEJA + MUESTRA (g)		1802
PESO NETO MUESTRA (g)		265.6
PESO DE LA BANDEJA VACÍA (g)		1536.4
PESO SECO		51.53

**Tabla 27: Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 60 min de cocción, en el secador de bandejas a 50°C de temperatura y velocidad 3.5 m/s**

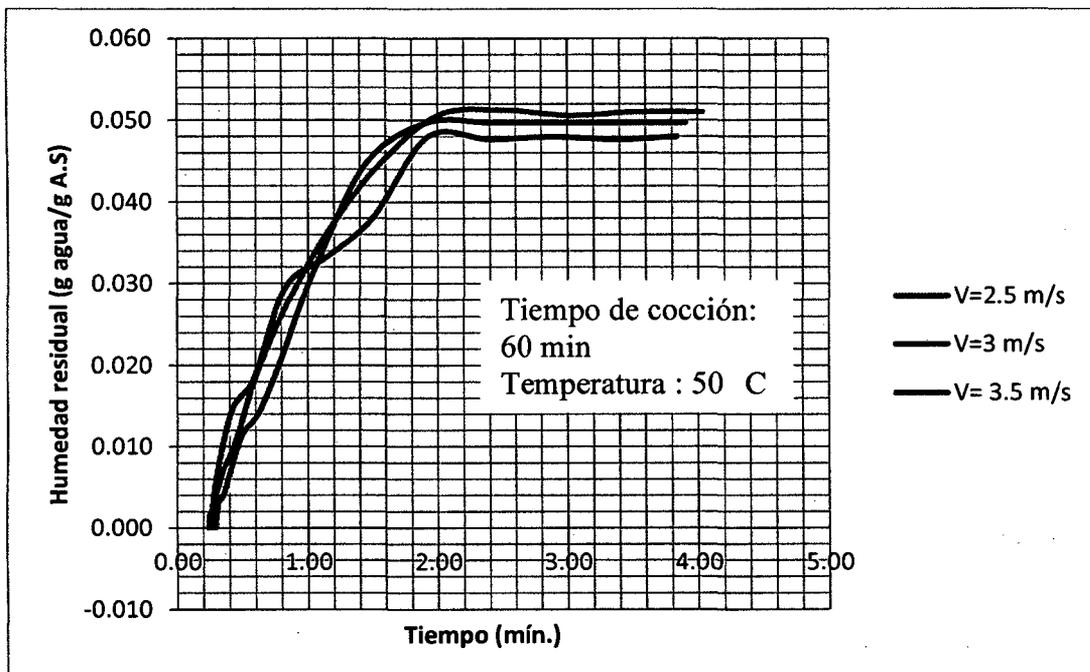
T	P1	PB	P2=P1-PB	(P2-S)/S		
Tiempo	Peso bandeja +Azafrán al tiempo t (g)	Peso de la bandeja	Peso Azafrán (g)	Humedad residual (g agua/g A.S)	dY/dt (g agua/g A.S. min)	Ym (g agua/ g A.S.
0	1775	1536.4	238.6	4.29		
10	1752	1536.4	215.6	3.78	0.051	4.04
20	1729	1536.4	192.6	3.27	0.051	3.53
30	1706.2	1536.4	169.8	2.77	0.051	3.02
40	1683.1	1536.4	146.7	2.25	0.051	2.51
50	1660.3	1536.4	123.9	1.75	0.051	2.00
60	1640.4	1536.4	104	1.31	0.044	1.53
70	1624.3	1536.4	87.9	0.95	0.036	1.13
80	1612.3	1536.4	75.9	0.68	0.027	0.82
90	1604.1	1536.4	67.7	0.50	0.018	0.59
100	1599.3	1536.4	62.9	0.39	0.011	0.45
110	1596	1536.4	59.6	0.32	0.007	0.36
120	1594.1	1536.4	57.7	0.28	0.004	0.30
130	1593	1536.4	56.6	0.26	0.002	0.27
140	1593	1536.4	56.6	0.26	0.000	0.26
150	1593	1536.4	56.6	0.26	0.000	0.26
160	1593	1536.4	56.6	0.26	0.000	0.26
170	1593	1536.4	56.6	0.26	0.000	0.26

PESO BANDEJA + MUESTRA (g)		1775
PESO NETO MUESTRA (g)		238.6
PESO DE LA BANDEJA VACÍA (g)		1536.4
PESO SECO		45.09



**Figura 25:** Humedad residual en función del tiempo ( $t = 60\text{min}$ ,  $T = 50^\circ\text{C}$

$V_1=2.5\text{ m/s}$ ,  $V_2= 3\text{ m/s}$  y  $V_3= 3.5\text{ m/s}$ )



**Figura 26:** Variación de la humedad respecto al tiempo en función de la humedad residual ( $t = 60\text{ min}$ ,  $T = 50^\circ\text{C}$   $V_1=2.5\text{ m/s}$ ,  $V_2= 3\text{ m/s}$  y  $V_3= 3.5\text{ m/s}$ )

Resultados de las corridas experimentales de secado de las muestras de Azafrán tratadas con 60 min de cocción, secados a una temperatura de 55°C y velocidades del aire de secado de 2.5 m/s, 3 m/s y 3.5 m/s

**Tabla 28: Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 60 min de cocción, en el secador de bandejas a 55°C de temperatura y velocidad 2.5 m/s**

T	P1	PB	P2=P1-PB	(P2-S)/S	dY/dt (g agua/g A.S. min)	Ym (g agua/ g A.S.)
Tiempo	Peso bandeja +Azafrán al tiempo t (g)	Peso de la bandeja	Peso Azafrán (g)	Humedad residual (g agua/g A.S)		
0	1699.5	1536.4	163.1	4.10		
10	1682.8	1536.4	146.4	3.58	0.052	3.84
20	1666.3	1536.4	129.9	3.06	0.052	3.32
30	1649.7	1536.4	113.3	2.55	0.052	2.80
40	1633	1536.4	96.6	2.02	0.052	2.28
50	1616.4	1536.4	80	1.50	0.052	1.76
60	1602.5	1536.4	66.1	1.07	0.043	1.29
70	1592	1536.4	55.6	0.74	0.033	0.90
80	1584.5	1536.4	48.1	0.51	0.023	0.62
90	1580.6	1536.4	44.2	0.38	0.012	0.44
100	1578.4	1536.4	42	0.31	0.007	0.35
110	1577	1536.4	40.6	0.27	0.004	0.29
120	1576.3	1536.4	39.9	0.25	0.002	0.26
130	1576	1536.4	39.6	0.24	0.001	0.24
140	1576	1536.4	39.6	0.24	0.000	0.24
150	1576	1536.4	39.6	0.24	0.000	0.24
160	1576	1536.4	39.6	0.24	0.000	0.24
170	1576	1536.4	39.6	0.24	0.000	0.24

PESO BANDEJA + MUESTRA (g)	1699.5
PESO NETO MUESTRA (g)	163.1
PESO DE LA BANDEJA VACÍA (g)	1536.4
PESO SECO	31.96

**Tabla 29: Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 60 min de cocción, en el secador de bandejas a 55°C de temperatura y velocidad 3 m/s**

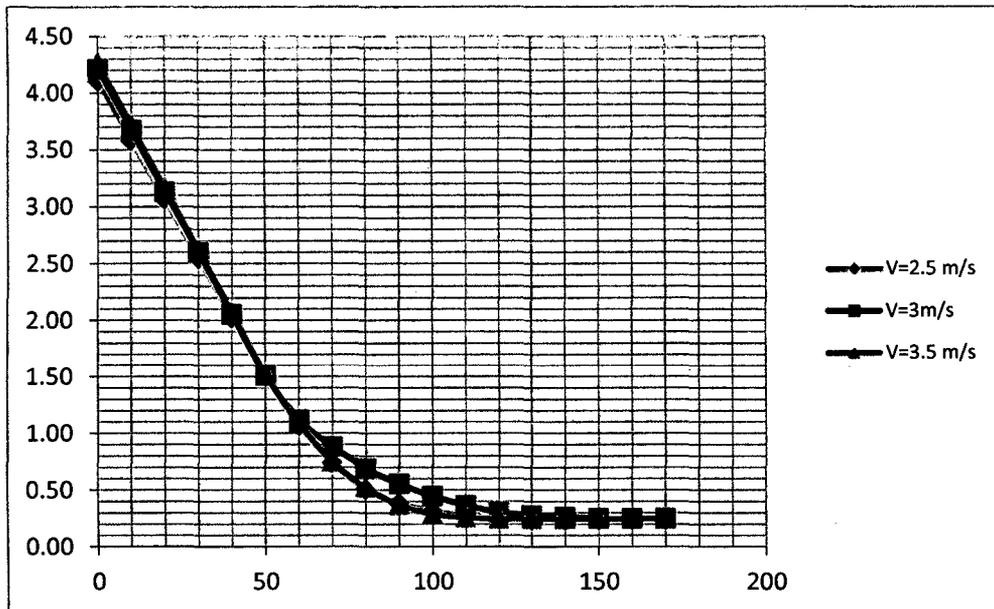
T	P1	PB	P2=P1-PB	(P2-S)/S	dY/dt (g agua/g A.S. min)	Ym (g agua/ g A.S.)
Tiempo	Peso bandeja +Azafrán al tiempo t (g)	Peso de la bandeja	Peso Azafrán (g)	Humedad residual (g agua/g A.S)		
0	1760	1536.4	223.6	4.21		
10	1737	1536.4	200.6	3.67	0.054	3.94
20	1713.7	1536.4	177.3	3.13	0.054	3.40
30	1690.7	1536.4	154.3	2.59	0.054	2.86
40	1667.4	1536.4	131	2.05	0.054	2.32
50	1644.1	1536.4	107.7	1.51	0.054	1.78
60	1627.2	1536.4	90.8	1.12	0.039	1.31
70	1617.1	1536.4	80.7	0.88	0.024	1.00
80	1609	1536.4	72.6	0.69	0.019	0.79
90	1603.1	1536.4	66.7	0.55	0.014	0.62
100	1598.5	1536.4	62.1	0.45	0.011	0.50
110	1594.9	1536.4	58.5	0.36	0.008	0.40
120	1592.3	1536.4	55.9	0.30	0.006	0.33
130	1591	1536.4	54.6	0.27	0.003	0.29
140	1590.6	1536.4	54.2	0.26	0.001	0.27
150	1590	1536.4	53.6	0.25	0.001	0.26
160	1590	1536.4	53.6	0.25	0.000	0.25
170	1590	1536.4	53.6	0.25	0.000	0.25

PESO BANDEJA + MUESTRA (g)	1760
PESO NETO MUESTRA (g)	223.6
PESO DE LA BANDEJA VACÍA (g)	1536.4
PESO SECO	42.93

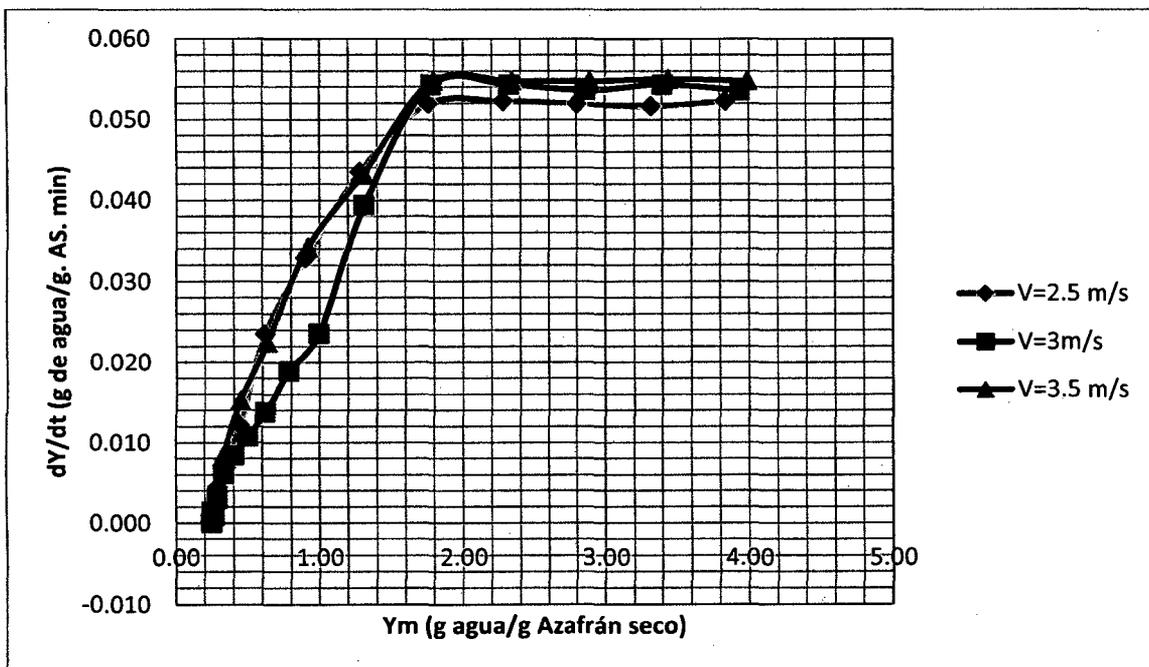
**Tabla 30: Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 60 min de cocción, en el secador de bandejas a 55°C de temperatura y velocidad 3.5 m/s**

T	P1	PB	P2=P1-PB	(P2-S)/S	dY/dt (g agua/g A.S. min)	Ym (g agua/g A.S.)
Tiempo	Peso bandeja +Azafrán al tiempo t (g)	Peso de la bandeja	Peso Azafrán (g)	Humedad residual (g agua/g A.S)		
0	1792	1536.4	255.6	4.26		
10	1765.4	1536.4	229	3.72	0.055	3.99
20	1738.7	1536.4	202.3	3.17	0.055	3.44
30	1712.1	1536.4	175.7	2.62	0.055	2.89
40	1685.5	1536.4	149.1	2.07	0.055	2.34
50	1658.9	1536.4	122.5	1.52	0.055	1.80
60	1637.9	1536.4	101.5	1.09	0.043	1.31
70	1621.3	1536.4	84.9	0.75	0.034	0.92
80	1610.4	1536.4	74	0.52	0.022	0.64
90	1603	1536.4	66.6	0.37	0.015	0.45
100	1599	1536.4	62.6	0.29	0.008	0.33
110	1597.5	1536.4	61.1	0.26	0.003	0.27
120	1597	1536.4	60.6	0.25	0.001	0.25
130	1597	1536.4	60.6	0.25	0.000	0.25
140	1597	1536.4	60.6	0.25	0.000	0.25
150	1597	1536.4	60.6	0.25	0.000	0.25
160	1597	1536.4	60.6	0.25	0.000	0.25
170	1597	1536.4	60.6	0.25	0.000	0.25

PESO BANDEJA + MUESTRA (g)		1792
PESO NETO MUESTRA (g)		255.6
PESO DE LA BANDEJA VACÍA (g)		1536.4
PESO SECO		48.56



**Figura 27:** Humedad residual en función del tiempo ( $t = 60\text{min}$ ,  $T = 55^\circ\text{C}$   
 $V_1=2.5\text{ m/s}$ ,  $V_2= 3\text{ m/s}$  y  $V_3= 3.5\text{ m/s}$ )



**Figura 28:** Variación de la humedad respecto al tiempo en función de la  
 humedad residual ( $t = 60\text{ min}$ ,  $T = 55^\circ\text{C}$   $V_1=2.5\text{ m/s}$ ,  $V_2= 3\text{ m/s}$  y  $V_3= 3.5\text{ m/s}$ )

Resultados de las corridas experimentales de secado de las muestras de Azafrán tratadas con 60 min de cocción, secados a una temperatura de 60°C y velocidades del aire de secado de 2.5 m/s, 3 m/s y 3.5 m/s

**Tabla 31: Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 60 min de cocción, en el secador de bandejas a 60°C de temperatura y velocidad 2.5 m/s**

T	P1	PB	P2=P1-PB	(P2-S)/S	dY/dt (g agua/g A.S. min)	Ym (g agua/ g A.S.)
Tiempo	Peso bandeja +Azafrán al tiempo t (g)	Peso de la bandeja	Peso Azafrán (g)	Humedad residual (g agua/g A.S)		
0	1706	1536.4	169.6	3.95		
10	1687.2	1536.4	150.8	3.40	0.055	3.68
20	1668.6	1536.4	132.2	2.86	0.054	3.13
30	1649.8	1536.4	113.4	2.31	0.055	2.59
40	1631.1	1536.4	94.7	1.77	0.055	2.04
50	1612.3	1536.4	75.9	1.22	0.055	1.49
60	1594.7	1536.4	58.3	0.70	0.051	0.96
70	1587	1536.4	50.6	0.48	0.022	0.59
80	1584	1536.4	47.6	0.39	0.009	0.43
90	1582	1536.4	45.6	0.33	0.006	0.36
100	1581	1536.4	44.6	0.30	0.003	0.32
110	1581	1536.4	44.6	0.30	0.000	0.30
120	1581	1536.4	44.6	0.30	0.000	0.30
130	1581	1536.4	44.6	0.30	0.000	0.30
140	1581	1536.4	44.6	0.30	0.000	0.30
150	1581	1536.4	44.6	0.30	0.000	0.30
160	1581	1536.4	44.6	0.30	0.000	0.30
170	1581	1536.4	44.6	0.30	0.000	0.30

PESO BANDEJA + MUESTRA (g)	1706
PESO NETO MUESTRA (g)	169.6
PESO DE LA BANDEJA VACÍA (g)	1536.4
PESO SECO	34.24

**Tabla 32: Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 60 min de cocción, en el secador de bandejas a 60°C de temperatura y velocidad 3 m/s**

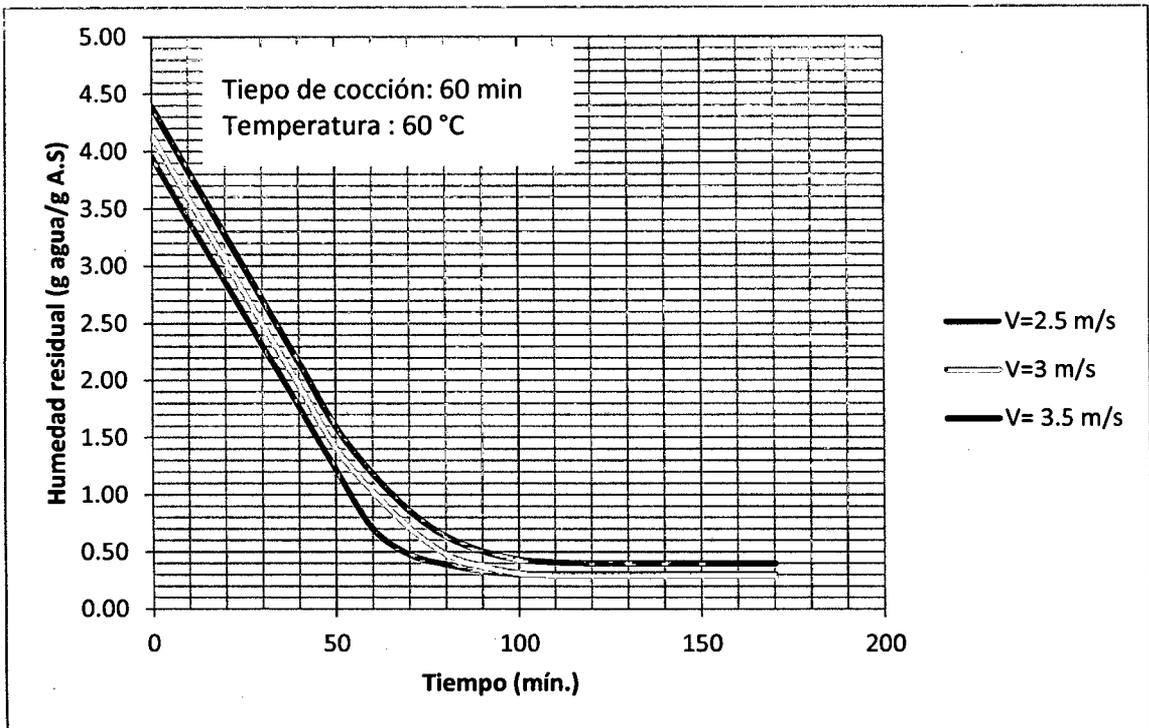
T	P1	PB	P2=P1-PB	(P2-S)/S	dY/dt (g agua/g A.S. min)	Ym (g agua/ g A.S.)
Tiempo	Peso bandeja +Azafrán al tiempo t (g)	Peso de la bandeja	Peso Azafrán (g)	Humedad residual (g agua/g A.S)		
0	1714	1536.4	177.6	4.13		
10	1695.1	1536.4	158.7	3.59	0.055	3.86
20	1676.2	1536.4	139.8	3.04	0.055	3.31
30	1657.3	1536.4	120.9	2.49	0.055	2.77
40	1638.4	1536.4	102	1.95	0.055	2.22
50	1619.5	1536.4	83.1	1.40	0.055	1.67
60	1606.5	1536.4	70.1	1.03	0.038	1.21
70	1595.5	1536.4	59.1	0.71	0.032	0.87
80	1587.5	1536.4	51.1	0.48	0.023	0.59
90	1584	1536.4	47.6	0.38	0.010	0.43
100	1581.9	1536.4	45.5	0.32	0.006	0.35
110	1581	1536.4	44.6	0.29	0.003	0.30
120	1581	1536.4	44.6	0.29	0.000	0.29
130	1581	1536.4	44.6	0.29	0.000	0.29
140	1581	1536.4	44.6	0.29	0.000	0.29
150	1581	1536.4	44.6	0.29	0.000	0.29
160	1581	1536.4	44.6	0.29	0.000	0.29
170	1581	1536.4	44.6	0.29	0.000	0.29

PESO BANDEJA + MUESTRA (g)		1714
PESO NETO MUESTRA (g)		177.6
PESO DE LA BANDEJA VACÍA (g)		1536.4
PESO SECO		34.6

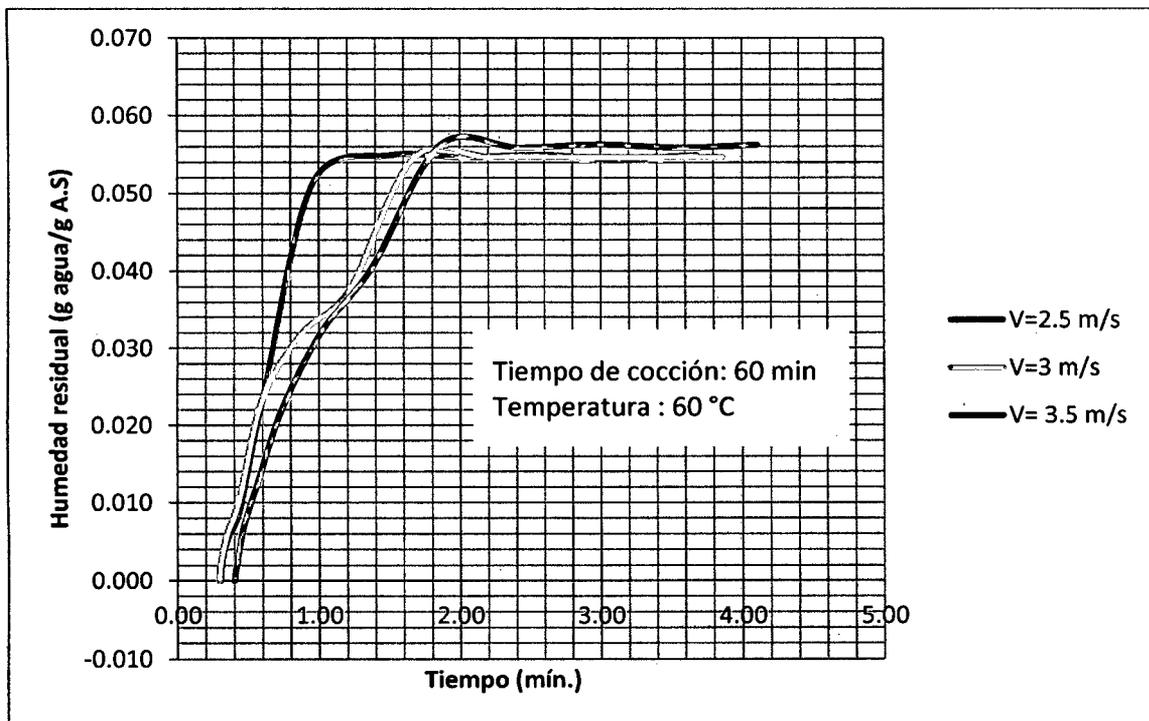
**Tabla 33: Datos experimentales de la operación de secado de rizomas de Azafrán con 60 min de cocción, en el secador de bandejas a 60°C de temperatura y velocidad 3.5 m/s**

T	P1	PB	P2=P1-PB	(P2-S)/S	dY/dt (g agua/g A.S. min)	Ym (g agua/ g A.S.)
Tiempo	Peso bandeja +Azafrán al tiempo t (g)	Peso de la bandeja	Peso Azafrán (g)	Humedad residual (g agua/g A.S)		
0	1670.5	1536.4	134.1	4.39		
10	1656.5	1536.4	120.1	3.82	0.056	4.10
20	1642.6	1536.4	106.2	3.27	0.056	3.54
30	1628.6	1536.4	92.2	2.70	0.056	2.98
40	1614.7	1536.4	78.3	2.14	0.056	2.42
50	1600.7	1536.4	64.3	1.58	0.056	1.86
60	1590.6	1536.4	54.2	1.18	0.041	1.38
70	1582.6	1536.4	46.2	0.86	0.032	1.02
80	1577	1536.4	40.6	0.63	0.022	0.74
90	1573.8	1536.4	37.4	0.50	0.013	0.57
100	1572	1536.4	35.6	0.43	0.007	0.47
110	1571.4	1536.4	35	0.41	0.002	0.42
120	1571.2	1536.4	34.8	0.40	0.001	0.40
130	1571.2	1536.4	34.8	0.40	0.000	0.40
140	1571.2	1536.4	34.8	0.40	0.000	0.40
150	1571.2	1536.4	34.8	0.40	0.000	0.40
160	1571.2	1536.4	34.8	0.40	0.000	0.40
170	1571.2	1536.4	34.8	0.40	0.000	0.40

PESO BANDEJA + MUESTRA (g)		1670.5
PESO NETO MUESTRA (g)		134.1
PESO DE LA BANDEJA VACÍA (g)		1536.4
PESO SECO		24.9



**Figura 29:** Humedad residual en función del tiempo ( $t = 60\text{min}$ ,  $T = 60^\circ\text{C}$   
 $V_1=2.5\text{ m/s}$ ,  $V_2= 3\text{ m/s}$  y  $V_3= 3.5\text{ m/s}$ )



**Figura 30:** Variación de la humedad respecto al tiempo en función de la  
 humedad residual ( $t = 60\text{ min}$ ,  $T = 60^\circ\text{C}$   $V_1=2.5\text{ m/s}$ ,  $V_2= 3\text{ m/s}$  y  $V_3= 3.5\text{ m/s}$ )

### ANEXO 3

#### Evaluación organoléptica del preparado de sopa de pollo

**Tabla 34: Valores promedio de la evaluación organoléptica del sabor del azafrán deshidratado usado como aditivo en sopa de pollo.**

REP	A1=0 min de cocción									A2=30 min de cocción									A3=60 min de cocción								
	B1=50°C			B2=55°C			B3=60°C			B1=50°C			B2=55°C			B3=60°C			B1=50°C			B2=55°C			B3=60°C		
	C1: 2.5	C2: 3	C3: 3.5	C1: 2.5	C2: 3	C3: 3.5	C1: 2.5	C2: 3	C3: 3.5	C1: 2.5	C2: 3	C3: 3.5	C1: 2.5	C2: 3	C3: 3.5	C1: 2.5	C2: 3	C3: 3.5	C1: 2.5	C2: 3	C3: 3.5	C1: 2.5	C2: 3	C3: 3.5	C1: 2.5	C2: 3	C3: 3.5
1	2	3	1	2	1	2	2	3	3	3	4	5	3	3	4	4	3	3	3	4	5	4	5	5	5	4	4
2	3	3	1	2	2	3	3	2	3	4	3	4	4	4	3	3	4	3	4	3	3	5	4	4	4	4	4
3	2	2	2	2	1	3	2	2	3	3	3	2	3	4	3	2	3	3	4	4	4	5	5	5	4	3	3
4	1	1	3	3	2	3	2	3	2	4	2	3	5	3	5	4	3	4	4	4	3	5	5	5	4	3	4
5	3	2	2	1	2	4	2	3	2	2	3	3	4	4	4	3	4	3	3	4	3	5	4	5	4	4	5
6	3	2	1	2	3	3	3	2	1	3	2	2	3	3	3	2	3	4	4	5	5	4	5	5	3	4	4
7	2	2	3	2	3	3	4	2	1	5	2	4	2	3	3	4	4	4	3	5	4	5	5	5	4	4	4
8	2	1	2	3	2	2	2	3	2	3	3	3	4	5	5	3	4	2	5	3	4	4	5	4	4	5	5
9	1	3	1	2	1	1	2	2	1	4	3	3	3	3	4	4	5	4	3	4	4	5	3	4	4	4	5
10	3	4	3	1	1	1	3	3	2	4	4	3	4	3	5	4	4	3	3	3	3	5	4	5	5	5	3
11	4	3	2	3	3	2	3	2	2	3	4	4	4	5	4	4	3	3	4	3	3	5	5	5	4	4	5
12	3	1	2	2	3	1	3	3	1	5	3	4	3	3	3	3	3	4	4	3	4	4	5	5	5	4	5
Σxi	29	27	23	25	24	28	31	30	23	43	36	40	42	43	46	40	43	40	44	45	45	56	55	57	50	48	51
Xi	2.42	2.25	1.92	2.08	2.00	2.33	2.58	2.50	1.92	3.58	3.00	3.33	3.50	3.58	3.83	3.33	3.58	3.33	3.67	3.75	3.75	4.67	4.58	4.75	4.17	4.00	4.25

**Tabla 35: Valores promedio de la evaluación organoléptica del color del azafrán deshidratado usado como aditivo en sopa de pollo.**

REP	A1=0 min de cocción									A2=30 min de cocción									A3=60 min de cocción								
	B1=50°C			B2=55°C			B3=60°C			B1=50°C			B2=55°C			B3=60°C			B1=50°C			B2=55°C			B3=60°C		
	C1: 2.5	C2:3	C3: 3.5	C1: 2.5	C2:3	C3: 3.5	C1: 2.5	C2:3	C3: 3.5	C1: 2.5	C2:3	C3: 3.5	C1: 2.5	C2:3	C3: 3.5	C1: 2.5	C2:3	C3: 3.5	C1: 2.5	C2:3	C3: 3.5	C1: 2.5	C2:3	C3: 3.5	C1: 2.5	C2:3	C3: 3.5
1	4	5	3	4	3	5	5	4	4	5	4	5	5	4	5	4	3	4	5	4	5	4	5	5	5	4	4
2	3	4	4	5	5	3	3	3	5	5	3	4	4	4	5	5	4	5	4	3	3	5	4	4	4	5	4
3	4	4	5	4	4	3	4	4	3	5	5	4	5	5	3	5	5	5	5	4	4	5	5	5	4	5	5
4	5	4	3	4	5	4	5	5	4	4	5	5	4	5	5	4	3	4	5	5	5	4	5	5	5	5	4
5	5	3	4	3	4	4	3	3	5	4	3	5	4	4	4	3	4	5	5	4	5	4	4	4	5	4	5
6	4	5	4	5	5	3	5	4	4	3	4	5	3	3	5	5	5	4	4	5	5	4	5	5	3	4	5
7	5	5	5	4	3	3	4	5	4	5	5	4	4	5	4	4	4	4	3	5	4	4	5	5	4	4	4
8	4	5	5	3	4	5	5	4	2	3	5	3	5	5	5	3	4	5	5	5	4	5	5	4	4	5	5
9	5	3	4	5	5	5	4	5	5	4	4	4	3	4	4	4	5	4	3	4	4	5	5	4	4	4	5
10	5	4	5	5	3	4	5	5	5	5	5	3	5	3	5	5	5	4	3	3	3	5	4	5	5	5	3
11	4	3	4	4	5	4	3	5	5	3	4	5	4	5	4	4	5	3	4	5	5	5	5	5	4	4	5
12	5	2	3	4	3	5	4	4	5	5	5	4	3	3	4	4	3	4	4	5	4	4	5	5	5	4	5
Σxi	53	47	49	50	49	48	50	51	51	51	52	51	49	50	53	50	50	51	50	52	51	54	57	56	52	53	54
Xi	4.42	3.92	4.08	4.17	4.08	4.00	4.17	4.25	4.25	4.25	4.33	4.25	4.08	4.17	4.42	4.17	4.17	4.25	4.17	4.33	4.25	4.50	4.75	4.67	4.33	4.42	4.50

Tabla 36: Valores promedio de la evaluación organoléptica del aroma del azafrán deshidratado usado como aditivo en sopa de pollo

REP	A1=0 min de cocción									A2=30 min de cocción									A3=60 min de cocción								
	B1=50°C			B2=55°C			B3=60°C			B1=50°C			B2=55°C			B3=60°C			B1=50°C			B2=55°C			B3=60°C		
	C1: 2,5	C2: 3	C3: 3,5	C1: 2,5	C2: 3	C3: 3,5	C1: 2,5	C2: 3	C3: 3,5	C1: 2,5	C2: 3	C3: 3,5	C1: 2,5	C2: 3	C3: 3,5	C1: 2,5	C2: 3	C3: 3,5	C1: 2,5	C2: 3	C3: 3,5	C1: 2,5	C2: 3	C3: 3,5	C1: 2,5	C2: 3	C3: 3,5
1	3	5	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	3	4	3	3	4	3	4	4	3	4	4
2	3	4	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4	4	3	4	4	3	4	3	3	4	3	3	4	3	3	3
3	4	3	5	3	4	3	4	3	3	3	4	3	3	3	3	5	3	4	4	4	3	5	5	3	4	3	3
4	5	3	3	4	3	4	3	3	4	3	3	4	4	3	5	3	3	4	4	3	4	3	3	5	4	4	4
5	3	3	3	3	4	4	3	4	4	3	3	3	3	4	4	3	4	5	4	4	4	3	3	3	4	3	3
6	4	5	4	2	3	3	3	4	3	3	3	5	3	5	3	4	3	3	4	3	3	4	3	4	3	3	4
7	2	3	3	3	3	3	4	3	4	3	4	4	2	3	3	3	4	4	3	3	3	3	4	3	4	3	4
8	3	5	2	3	3	4	3	3	3	3	4	3	3	3	3	4	3	4	3	4	3	4	4	3	3	3	3
9	3	4	4	3	3	3	3	3	3	4	4	2	3	4	3	4	4	3	3	4	3	3	3	3	4	4	3
10	2	3	2	3	3	3	4	4	3	4	3	3	2	3	3	3	5	3	3	3	3	5	4	3	3	3	4
11	4	3	4	2	2	2	3	3	4	3	4	2	4	3	4	3	3	3	3	3	5	3	3	4	4	4	3
12	3	2	3	3	3	3	4	3	3	3	2	4	3	3	3	3	3	3	4	2	3	4	3	3	3	3	3
Σxi	39	43	38	35	37	38	40	39	40	38	41	40	37	41	42	40	44	42	42	38	43	42	42	43	42	40	41
Xi	3.25	3.58	3.17	2.92	3.08	3.17	3.33	3.25	3.33	3.17	3.42	3.33	3.08	3.42	3.50	3.33	3.67	3.50	3.50	3.17	3.58	3.50	3.50	3.58	3.50	3.33	3.42

**ANEXO 4**

**FORMATO TEST DE ESCALA HEDÓNICA PARA EVALUAR EL COLOR,  
SABOR Y AROMA**

**Nombre:** \_\_\_\_\_ **Producto:** Azafrán - aditivo

**Fecha:** \_\_\_\_\_

Pruebe por favor las muestras, ycalifique el COLOR, SABOR Y AROMA según la siguiente escala:

<b>Escala Para Medir Color, Sabor Y Aroma</b>		
Me gusta muchísimo	=	5
Me gusta moderadamente	=	4
No me gusta ni me disgusta	=	3
Me disgusta moderadamente	=	2
Me disgusta muchísimo	=	1

<b>Muestras</b>	<b>Sabor</b>	<b>Aroma</b>	<b>Color</b>

**Comentarios:** \_\_\_\_\_

GRACIAS

## ANEXO 5: RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN FÍSICO QUÍMICA

Tabla 37: Resultados promedios de la evaluación físico química

Tratamientos	pH	Acidez titulable	Ceniza
T1	6.43	0.5	12.1
T2	6.23	0.52	11.3
T3	6.51	0.48	12.1
T4	6.53	0.47	11.5
T5	6.45	0.49	12
T6	6.42	0.5	12.4
T7	6.5	0.48	12.7
T8	6.46	0.48	12.4
T9	6.77	0.45	11.3
T10	6.79	0.43	11.5
T11	6.78	0.44	11.7
T12	6.8	0.41	11
T13	6.74	0.46	12.3
T14	6.76	0.45	12
T15	6.77	0.45	12.8
T16	6.77	0.45	12.6
T17	6.79	0.43	12.6
T18	6.73	0.46	11.7
T19	6.81	0.43	11.5
T20	6.85	0.39	11
T21	6.82	0.4	10.8
T22	6.81	0.43	10.5
T23	6.87	0.38	10.9
T24	6.88	0.36	11.6
T25	6.89	0.35	12.5
T26	6.9	0.33	12.1
T27	6.79	0.43	11.8

## ANEXO 6

- **Análisis de varianza:**

Tabla 38. Prueba de homogeneidad de varianza

SABOR			
Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
1.381	3	135	0.253

**Fuente:** Elaboración propia.

Tabla 39. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra

Tratamiento	Sabor		
	N		27
22	Parámetros normales(a,b)	Media	5.20
		Desviación típica	0.845
	Diferencias más extremas	Absoluta	0.246
		Positiva	0.181
		Negativa	-0.227
	Z de Kolmogorov-Smirnov		1.401
Sig. asintót. (bilateral)		0.041	
	N		27
23	Parámetros normales(a,b)	Media	5.73
		Desviación típica	1.202
	Diferencias más extremas	Absoluta	0.221
		Positiva	0.146
		Negativa	-0.221
	Z de Kolmogorov-Smirnov		1.211
Sig. asintót. (bilateral)		0.106	
	N		27
24	Parámetros normales(a,b)	Media	5.75
		Desviación típica	0.835
	Diferencias más extremas	Absoluta	0.242
		Positiva	0.148
		Negativa	-0.212
	Z de Kolmogorov-Smirnov		1.240
Sig. asintót. (bilateral)		0.073	
25	N		27

		Media	5.20
	Parámetros normales(a,b)	Desviación típica	1.495
		Absoluta	0.247
	Diferencias más extremas	Positiva	0.120
		Negativa	-0.247
	Z de Kolmogorov-Smirnov		1.252
	Sig. asintót. (bilateral)		0.052
	N		27
		Media	5.57
	Parámetros normales(a,b)	Desviación típica	1.223
		Absoluta	0.242
26	Diferencias más extremas	Positiva	0.136
		Negativa	-0.242
	Z de Kolmogorov-Smirnov		1.323
	Sig. asintót. (bilateral)		0.060
a. La distribución de contraste es la Normal.			
b. Se han calculado a partir de los datos.			

Fuente: Elaboración propia.

- **Comparaciones Múltiples**

Tabla 40. Variable Dependiente Sabor

<b>Comparaciones múltiples</b>					
Variable dependiente:					
SABOR					
	(I) T	(J) T	Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Significación
DHS de Tukey	22	B	-0.13	0.248	0.983
		C	-0.17	0.248	0.962
		D	0.40	0.248	0.492
		E	-0.07	0.248	0.999
		A	0.13	0.248	0.983
	23	C	-0.03	0.248	1.000
		D	0.53	0.248	0.206
		E	0.07	0.248	0.999
	24	A	0.17	0.248	0.962
		B	0.03	0.248	1.000
		D	0.57	0.248	0.158
	25	E	0.10	0.248	0.994
		A	-0.40	0.248	0.492
		B	-0.53	0.248	0.206
	26	C	-0.57	0.248	0.158
E		-0.47	0.248	0.333	
	26	A	0.07	0.248	0.999

	B	-0.07	0.248	0.999
	C	-0.10	0.248	0.994
	D	0.47	0.248	0.333

**Fuente.** Elaboración propia.

- **Grupos Homogéneos.**

Tabla41. Sabor

	TRATAMIENTO	N	Subconjunto	
			1	2
DHS de Tukey(a,b)	D	27	5.10	
	A	27	5.20	
	E	27	5.47	
	B	27	5.63	
	C	27	5.87	
	Significación			0.168
Duncan(a,b)	D	27	5.20 b	
	A	27	5.60 b	5.58 a
	E	27	5.67 b	5.57 a
	B	27	5.73 b	5.73 a
	C	27		5.78 a
Significación			0.051	0.538

Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos.

Basado en la suma de cuadrados tipo III

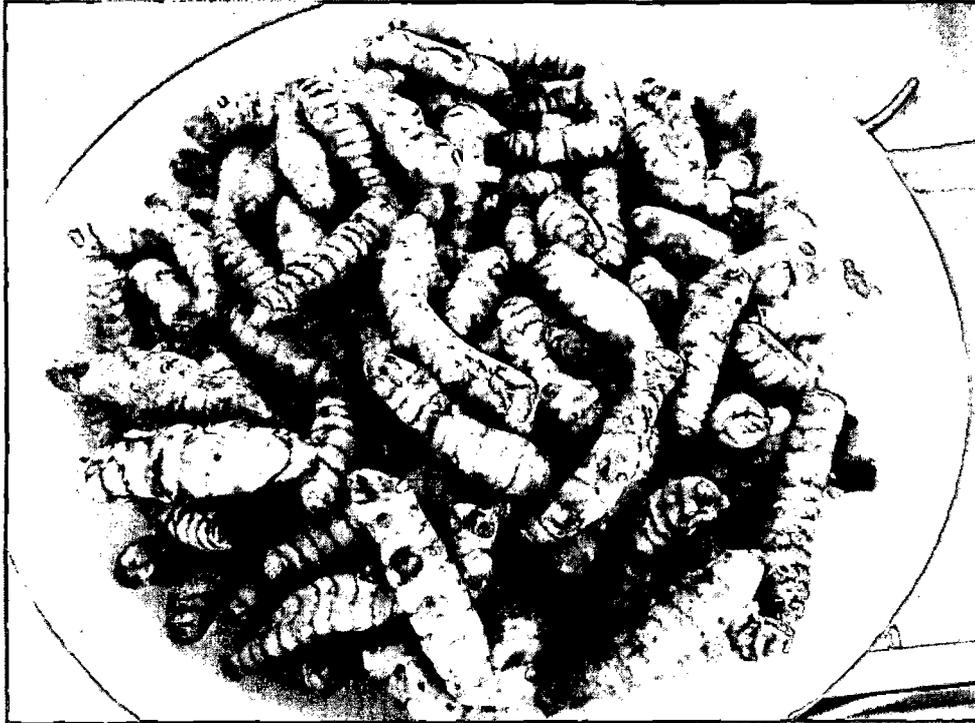
El término error es la Media cuadrática (Error) = .823.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 27.000

**Fuente.** Elaboración propia.

**ANEXO 7**

**FOTOS DEL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**



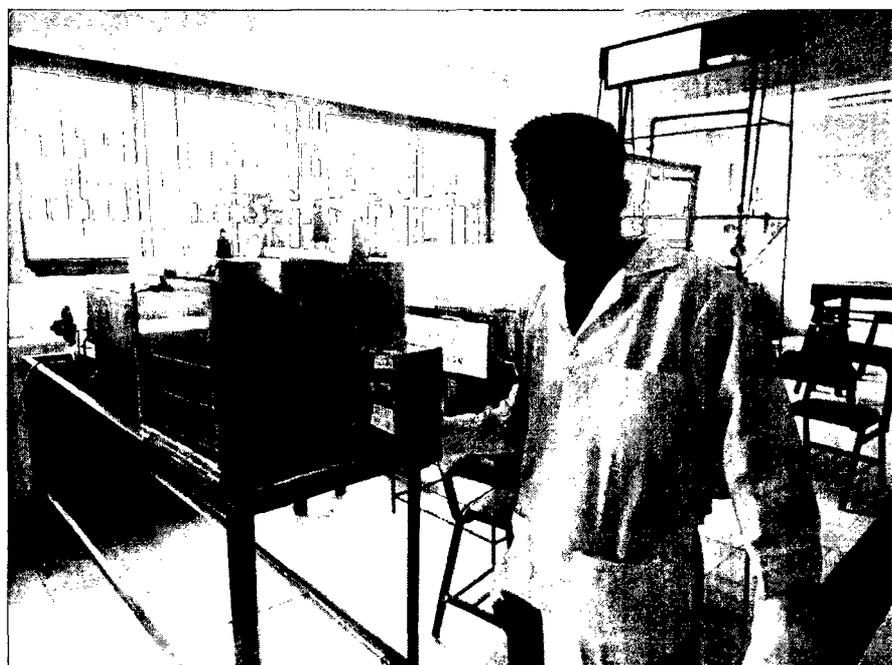
**Fotografía 2: Muestras del Azafrán fresco**



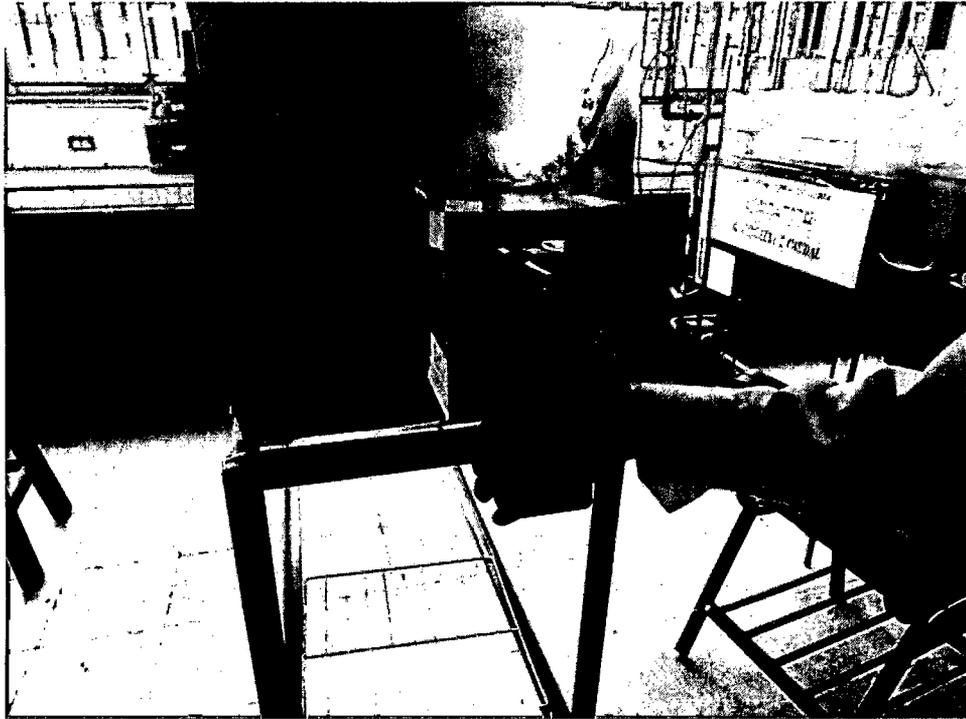
**Fotografía 3: Muestras de Azafrán después de lavado y pelado**



**Fotografía 4: Preparación de las muestras de Azafrán para el secado**



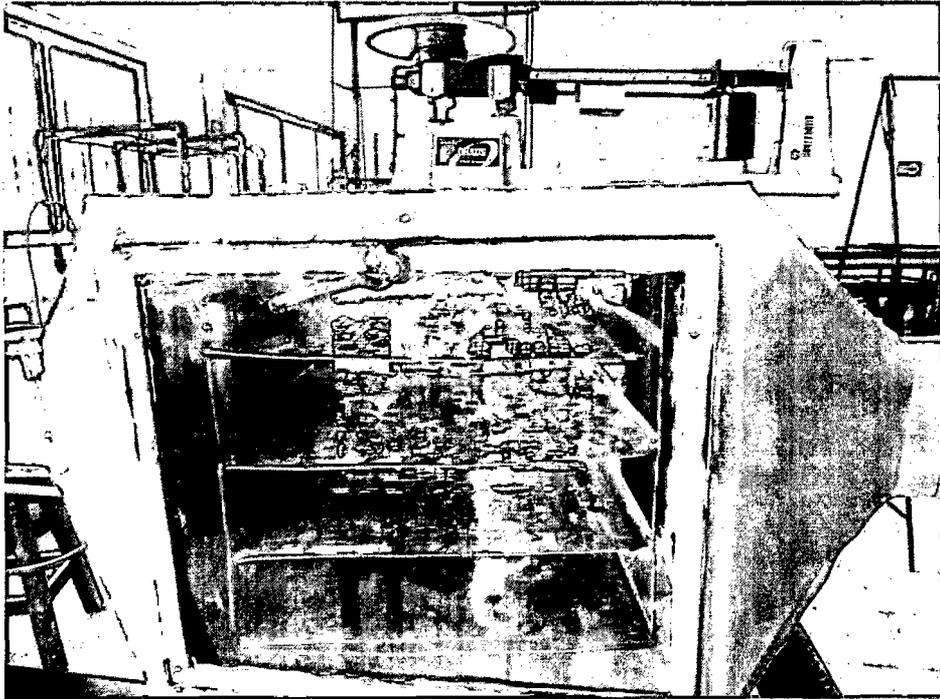
**Fotografía 5: Preparación del secador de bandejas para efectuar el secado**



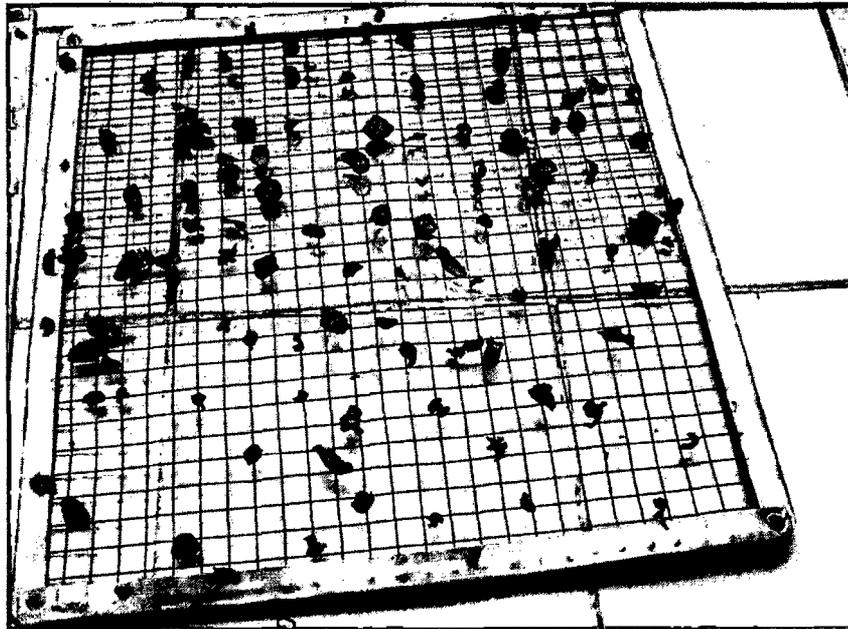
**Fotografía 6: Medición de la temperatura y velocidad del aire mediante el Anemómetro**



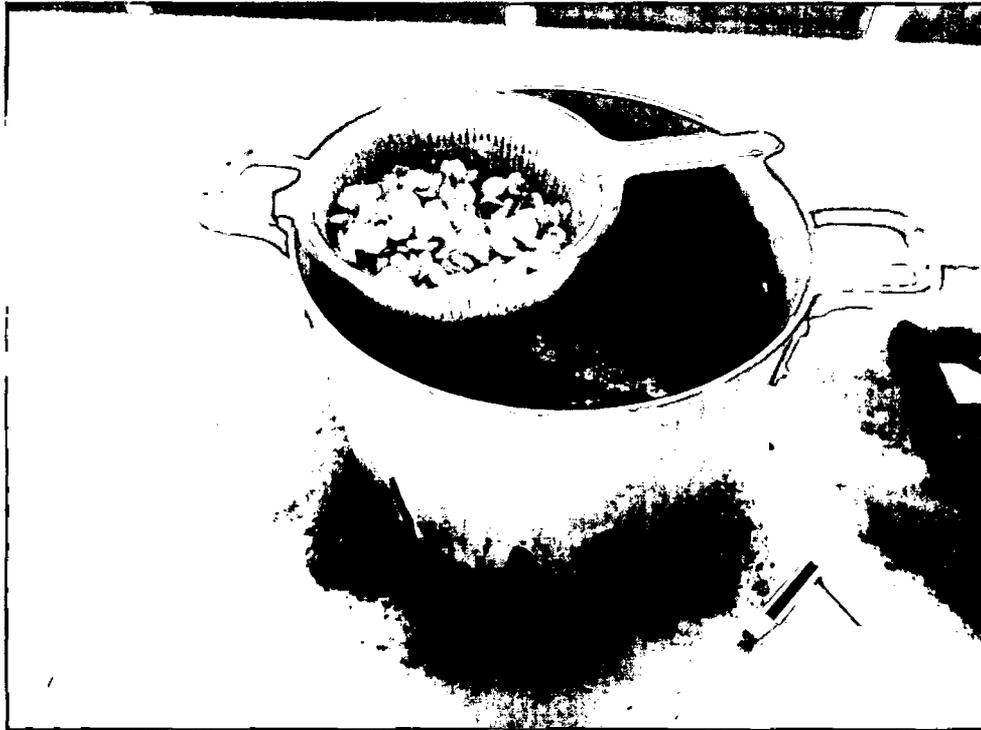
**Fotografía 7: Disposición de las muestras en las bandejas para ejecutar el secado**



**Fotografía 8: Disposición de las bandejas para ejecutar el secado**



**Fotografía 9: Presentación de las muestras después del secado**



**Fotografía 10: Disposición de las muestras para la cocción**

