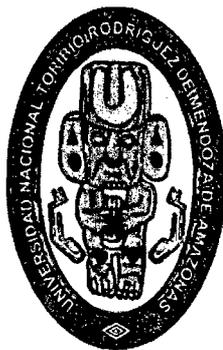


**UNIVERSIDAD NACIONAL  
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



28 ENE 2014

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

**MODELAMIENTO DE LA CINÉTICA DE SECADO DE AJOS  
(*Allium sativum* L.) PROVENIENTES DE GRANADA, PROVINCIA DE  
CHACHAPOYAS – AMAZONAS**

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

**AUTOR : CLEVER MAS TRIGOSO**

**ASESOR : Ing. POLITO MICHAEL HUAYAMA SOPLA**

**CO-ASESOR : Ing. OSCAR MICHEL JARA ALARCÓN**

**CHACHAPOYAS, AMAZONAS – PERÚ**

**2013**

## DEDICATORIA

A Dios que diariamente me da fuerza y fortaleza para seguir cada instante de mi vida, sobre llevando todo tipo de obstáculos para así poder lograr el éxito.

A mis padres José Mas y Rosa Trigoso. Por el gran amor, confianza y apoyo que me brindan cada día, para lograr mis metas propuestas.

A mi hermana Carmela M, por ser ejemplo a seguir.

**CLEVER**



28 ENE 2014

## **AGRADECIMIENTO**

**A Dios y a mis padres por el apoyo incondicional que me brindaron, para poder culminar mi carrera profesional y el presente trabajo de investigación.**

A los docentes de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, que me formaron en el campo profesional.

A mi asesor de tesis Ing. Polito Michael Huayama Sopla, Docente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, por su orientación y tiempo dedicado para poder realizar el presente trabajo de investigación.

A mi co-asesor de tesis Ing. Oscar Jara Alarcón, Docente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, por su orientación y tiempo dedicado para poder realizar el presente trabajo de investigación.

CLEVER

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

**Dr. VICENTE MARINO CASTAÑEDA CHÀVEZ**

*Rector*

**Dr. JOSÉ ROBERTO NERVI CHACÓN**

*Vicerrector Académico (e)*

**Dr. EVER SALOMÉ LÁZANO BAZÁN**

*Vicerrector Administrativo (e)*

**Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN**

*Decano de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias*

## VISTO BUENO DEL ASESOR

El docente de la UNTRM-A que suscribe, hace constar que asesorado el proyecto y la realización de la tesis titulada **“MODELAMIENTO DE LA CINÉTICA DE SECADO DE AJOS (*Allium sativum* L.) PROVENIENTES DE GRANADA, PROVINCIA DE CHACHAPOYAS – AMAZONAS”** presentado por **CLEVER MAS TRIGOSO**, egresado de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias, UNTRM-A.

El docente que suscribe da el visto bueno al informe final de tesis mencionando, dándole pase para que sea sometido a la revisión por el jurado evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones y acompañar en la sustentación de tesis.

Chachapoyas, 16 de septiembre del 2013



---

**Ing. POLITO MICHAEL HUAYAMA SOPLA**  
DOCENTE – UNTRM-A

**JURADO EVALUADOR**



---

**Dr. MIGUEL ANGEL BARRENA GURBILLÓN**

**PRESIDENTE**



---

**Ing. ERICK ALDO AUQUÍVIN SILVA**

**SECRETARIO**



---

**Ing. MEREGILDO SILVA RAMÍREZ**

**VOCAL**



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

FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS AGRARIAS

**ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

En la ciudad de Chachapoyas, el día 18 de OCTUBRE del año 2013, siendo las 2:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado conformado por:

Presidente: Dr. Miguel Ángel Barrera Gerbillon.

Secretario: Ing. Erick Aldo Acuña Silva

Vocal: Ing. Mercedes Silva Ramírez

para evaluar la Sustentación del Informe de Tesis presentado por el(la) bachiller, don(ña) CUEVER MAS TRIGOSO

titulado "MODELA MIENTO DE LA CINÉTICA DE SECADO DE AJOS (Allium sativum L.) PROVENIENTES DE GRANADÁ PROVINCIA DE CHACHAPOYAS - 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 UNAT-A.

Siendo las 3:30 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación del Informe de Tesis.




SECRETARIO PRESIDENTE  
VOCAL

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
AUTORIDADES DE LA UNTRM-A.....	iv
VISTO BUENO DEL ASESOR.....	v
JURADO EVALUADOR.....	vi
INDICE GENERAL.....	vii
INDICE DE TABLAS.....	vii
INDICE DE FIGURAS.....	xii
INDICE FOTOGRAFÍAS.....	xvii
RESUMEN.....	ixx
ABSTRACT.....	xx
<b>I INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>II MATERIAL Y MÉTODO.....</b>	<b>7</b>
2.1. Materia prima.....	7
2.2. Procedimiento experimental.....	7
2.2.1. Cinética de secado del ajo.....	7
2.2.2. Selección y acondicionamiento de la materia prima.....	8
2.2.3. Análisis granulométrico.....	9
2.2.4. Análisis estadístico.....	9
<b>III RESULTADOS.....</b>	<b>10</b>
3.1. Características del ajo.....	10
3.2. Cinética de secado de ajos.....	10
3.3. Modelo matemático de la cinética de secado de papaya.....	23

3.4. Análisis granulométrico.....	25
<b>IV. DISCUSIÓN.....</b>	<b>27</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>29</b>
<b>VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>31</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>34</b>

## INDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1.	Composición nutritiva de 100 g de parte comestible de ajo.....2
Tabla 2.	Datos experimentales de secado de papayas, en el secador de bandejas con flujo de aire caliente a 50°C y velocidad de 3,5 m/s (SB = 1539,5 g S =179,8g).....13
Tabla 3.	Ecuaciones correspondientes a la parte recta y a la parte curva de cada una de las gráficas de secado obtenidas con los datos experimentales analizados con el software SPSS y sus parámetros cinéticos.....24
Tabla 4.	Tamizado de la harina de ajos secado a 40 °C.....25
Tabla 5.	Índice de cernido e índice de rechazo de la harina de ajos secado a 40°C.....25
Tabla 6.	Tamizado de la harina de ajos secado a 40 °C .....25
Tabla 7.	Índice de cernido e índice de rechazo de la harina de ajos secado a 50°C.....26
Tabla 8.	Tamizado de la harina de ajos secado a 60 °C .....26
Tabla 9.	Índice de cernido e índice de rechazo de la harina de ajos secado a 60°C.....26
Tabla 10.	Datos experimentales de secado de rodajas de ajos, en el secador de bandejas con flujo de aire caliente a 40 °C y velocidad de 3 m/s (SB = 1539,5 g; S = 179,7 g).....41
Tabla 11.	Resumen del modelo de regresión lineal (T1 = 40 °C; V1 = 3,0 m/s)..... 44
Tabla 12.	Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal..... 44

Tabla 13.	Coefficientes de la ecuación lineal ( $T1 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; $V1 = 3,0\text{ m/s}$ ).....	44
Tabla 14.	Resumen del modelo de regresión exponencial ( $T1 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; $V1 = 3,0\text{ m/s}$ ).....	45
Tabla 15.	Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial( $T1 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; $V1 = 3,0\text{ m/s}$ ).....	45
Tabla 16.	<b>Coefficientes de la ecuación exponencial (<math>T1 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}</math>; <math>V1 = 3,0\text{ m/s}</math>).....</b>	<b>46</b>
Tabla 17.	Datos experimentales de secado de tiras de papayas, en el secador de bandejas con flujo de aire caliente a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ y velocidad de $3,5\text{ m/s}$ ( $SB = 1539,5\text{ g}$ $S = 179,3\text{ g}$ ).....	47
Tabla 18.	Resumen del modelo de regresión lineal ( $T1 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; $V2 = 3,5\text{ m/s}$ ).....	50
Tabla 19.	Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal ( $T1 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; $V2 = 3,5\text{ m/s}$ ).....	50
Tabla 20.	Coefficientes de la ecuación lineal ( $T1 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; $V2 = 3,5\text{ m/s}$ ).....	50
Tabla 21.	Resumen del modelo de regresión exponencial ( $T1 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; $V2 = 3,5\text{ m/s}$ ).....	51
Tabla 22.	Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial ( $T1 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; $V2 = 3,5\text{ m/s}$ ).....	51
Tabla 23.	<b>Coefficientes de la ecuación exponencial (<math>T1 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}</math>; <math>V2 = 3,5\text{ m/s}</math>).....</b>	<b>52</b>
Tabla 24.	Datos experimentales de secado de tiras de papayas, en el secador de bandejas con flujo de aire caliente a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ y velocidad de $4\text{ m/s}$ ( $SB = 1539,5\text{ g}$ $S = 179,6\text{ g}$ ).....	53
Tabla 25.	Resumen del modelo de regresión lineal ( $T1 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; $V3 = 4,0\text{ m/s}$ ).....	56
Tabla 26.	Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal ( $T1 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; $V3 = 4,0\text{ m/s}$ ).....	56

Tabla 27.	Coefficientes de la ecuación lineal ( $T_1 = 40\text{ }^\circ\text{C}$ ; $V_3 = 4,0\text{ m/s}$ ).....	56
Tabla 28.	Resumen del modelo de regresión exponencial ( $T_1 = 40\text{ }^\circ\text{C}$ ; $V_3 = 4,0\text{ m/s}$ ).....	57
Tabla 29.	Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial ( $T_1 = 40\text{ }^\circ\text{C}$ ; $V_3 = 4,0\text{ m/s}$ ).....	57
Tabla 30.	Coefficientes de la ecuación exponencial ( $T_1 = 40\text{ }^\circ\text{C}$ ; $V_3 = 4,0\text{ m/s}$ ).....	58
Tabla 31.	Datos experimentales de secado de tiras de papayas, en el secador de bandejas con flujo de aire caliente a $50\text{ }^\circ\text{C}$ y velocidad de $3\text{ m/s}$ ( $S_B = 1539,5\text{ g}$ $S = 179,4\text{ g}$ ).....	59
Tabla 32.	Resumen del modelo de regresión lineal ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ; $V_1 = 3,0\text{ m/s}$ ).....	62
Tabla 33.	Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ; $V_1 = 3,0\text{ m/s}$ ).....	62
Tabla 34.	Coefficientes de la ecuación lineal ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ; $V_1 = 3,0\text{ m/s}$ ).....	62
Tabla 35.	Resumen del modelo de regresión exponencial ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ; $V_1 = 3,0\text{ m/s}$ ).....	63
Tabla 36.	Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ; $V_1 = 3,0\text{ m/s}$ ).....	63
Tabla 37.	Coefficientes de la ecuación exponencial ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ; $V_1 = 3,0\text{ m/s}$ ).....	64
Tabla 38.	Datos experimentales de secado de tiras de papayas, en el secador de bandejas con flujo de aire caliente a $50\text{ }^\circ\text{C}$ y velocidad de $3,5\text{ m/s}$ ( $S_B = 1539,5\text{ g}$ $S = 179,8\text{ g}$ ).....	65
Tabla 39.	Resumen del modelo de regresión lineal ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ; $V_2 = 3,5\text{ m/s}$ ).....	68
Tabla 40.	Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ; $V_2 = 3,5\text{ m/s}$ ).....	68

Tabla 41.	Coefficientes de la ecuación lineal ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ; $V_2 = 3,5\text{ m/s}$ ).....	68
Tabla 42.	Resumen del modelo de regresión exponencial ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ; $V_2 = 3,5\text{ m/s}$ ).....	69
Tabla 43.	Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ; $V_2 = 3,5\text{ m/s}$ ).....	69
Tabla 44.	<b>Coefficientes de la ecuación exponencial (<math>T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}</math>; <math>V_2 = 3,5\text{ m/s}</math>).....</b>	<b>70</b>
Tabla 45.	Datos experimentales de secado de tiras de papayas, en el secador de bandejas con flujo de aire caliente a $50^\circ\text{C}$ y velocidad de $3,5\text{ m/s}$ ( $SB = 1539,5\text{ g}$ $S = 179,6\text{ g}$ ).....	71
Tabla 46.	Resumen del modelo de regresión lineal ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ; $V_3 = 4,0\text{ m/s}$ ).....	74
Tabla 47.	Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ; $V_3 = 4,0\text{ m/s}$ ).....	74
Tabla 48.	Coefficientes de la ecuación lineal ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ; $V_3 = 4,0\text{ m/s}$ ).....	74
Tabla 49.	Resumen del modelo de regresión exponencial ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ; $V_3 = 4,0\text{ m/s}$ ).....	75
Tabla 50.	Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ; $V_3 = 4,0\text{ m/s}$ ).....	75
Tabla 51.	<b>Coefficientes de la ecuación exponencial (<math>T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}</math>; <math>V_3 = 4,0\text{ m/s}</math>).....</b>	<b>76</b>
Tabla 52.	Datos experimentales de secado de tiras de papayas, en el secador de bandejas con flujo de aire caliente a $60\text{ }^\circ\text{C}$ y velocidad de $3,0\text{ m/s}$ ( $SB = 1539,5\text{ g}$ $S = 179,5\text{ g}$ ).....	77
Tabla 53.	Resumen del modelo de regresión lineal ( $T_3 = 60\text{ }^\circ\text{C}$ ; $V_1 = 3,0\text{ m/s}$ ).....	80
Tabla 54.	Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal ( $T_3 = 60\text{ }^\circ\text{C}$ ; $V_1 = 3,0\text{ m/s}$ ).....	80

Tabla 55.	Coeficientes de la ecuación lineal ( $T_3 = 60\text{ }^\circ\text{C}$ ; $V_1 = 3,0\text{ m/s}$ ).....	80
Tabla 56.	Resumen del modelo de regresión exponencial ( $T_3 = 60\text{ }^\circ\text{C}$ ; $V_1 = 3,0\text{ m/s}$ ).....	81
Tabla 57.	Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial( $T_3 = 60\text{ }^\circ\text{C}$ ; $V_1 = 3,0\text{ m/s}$ ).....	81
Tabla 58.	<b>Coeficientes de la ecuación exponencial (<math>T_3 = 60\text{ }^\circ\text{C}</math>; <math>V_1 = 3,0\text{ m/s}</math>).....</b>	<b>82</b>
Tabla 59.	Datos experimentales de secado de tiras de papayas, en el secador de bandejas con flujo de aire caliente a $60\text{ }^\circ\text{C}$ y velocidad de $2,5\text{ m/s}$ ( $S_B = 1539,5\text{ g}$ $S = 179,3\text{ g}$ ).....	83
Tabla 60.	Resumen del modelo de regresión lineal ( $T_3 = 60\text{ }^\circ\text{C}$ ; $V_2 = 3,5\text{ m/s}$ ).....	86
Tabla 61.	Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal( $T_3 = 60\text{ }^\circ\text{C}$ ; $V_2 = 3,5\text{ m/s}$ ).....	86
Tabla 62.	Coeficientes de la ecuación lineal ( $T_3 = 60\text{ }^\circ\text{C}$ ; $V_2 = 3,5\text{ m/s}$ ).....	86
Tabla 63.	Resumen del modelo de regresión exponencial ( $T_3 = 60\text{ }^\circ\text{C}$ ; $V_2 = 3,5\text{ m/s}$ ).....	87
Tabla 64.	Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial( $T_3 = 60\text{ }^\circ\text{C}$ ; $V_2 = 3,5\text{ m/s}$ ).....	87
Tabla 65.	<b>Coeficientes de la ecuación exponencial (<math>T_3 = 60\text{ }^\circ\text{C}</math>; <math>V_2 = 3,5\text{ m/s}</math>).....</b>	<b>88</b>
Tabla 66.	Datos experimentales de secado de tiras de papayas, en el secador de bandejas con flujo de aire caliente a $60\text{ }^\circ\text{C}$ y velocidad de $3,5\text{ m/s}$ ( $S_B = 1539,5\text{ g}$ $S = 179,9\text{ g}$ ).....	89
Tabla 67.	Resumen del modelo de regresión lineal ( $T_3 = 60\text{ }^\circ\text{C}$ ; $V_3 = 4,0\text{ m/s}$ ).....	92
Tabla 68.	Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal ( $T_3 = 60\text{ }^\circ\text{C}$ ; $V_3 = 4,0\text{ m/s}$ ).....	92

Tabla 69.	Coeficientes de la ecuación lineal ( $T_3 = 60\text{ }^\circ\text{C}$ ; $V_3 = 4,0\text{ m/s}$ ).....	92
Tabla 70.	Resumen del modelo de regresión exponencial ( $T_1 = 60\text{ }^\circ\text{C}$ ; $V_3 = 4,0\text{ m/s}$ ).....	93
Tabla 71.	Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial( $T_3 = 60\text{ }^\circ\text{C}$ ; $V_3 = 4,0\text{ m/s}$ ).....	93
Tabla 72.	Coeficientes de la ecuación logarítmica ( $T_3 = 60\text{ }^\circ\text{C}$ ; $V_3 = 4,0\text{ m/s}$ ).....	94

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Influencia de la velocidad del aire (W) sobre la operación de secado, a temperatura constante. $W_3 > W_2 > W_1$ . Fuente: Vernon, 2000.....	6
Figura 2. Plan experimental, a cada temperatura se evaluaron tres velocidades del aire de cado.....	8
Figura 3. Humedad residual en función del tiempo ( $T_1=40\text{ }^\circ\text{C}$ ; $W_1= 3\text{ m/s}$ ; $W_2= 2,5\text{ m/s}$ ; $W_3=3,5\text{m/s}$ ).....	12
Figura 4. Humedad residual en función del tiempo ( $T_1 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ; $W_1= 3\text{ m/s}$ ; $W_2 = 3,5\text{ m/s}$ ; $W_3 = 4\text{ /s}$ ).....	15
Figura 5. Humedad residual en función del tiempo ( $T_1 = 60\text{ }^\circ\text{C}$ ; $W_1= 3\text{ m/s}$ ; $W_2 = 3,5\text{ m/s}$ ; $W_3 = 4\text{ /s}$ ).....	17
Figura 6. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio ( $T_1 = 40\text{ }^\circ\text{C}$ ; $W_1= 3\text{ m/s}$ ; $W_2 = 3,5\text{ m/s}$ ; $W_3 = 4\text{ m/s}$ ).....	19
Figura 7. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio ( $T_1 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ; $W_1=3\text{ m/s}$ ; $W_2 =3,5\text{ m/s}$ ; $W_3 =4\text{ m/s}$ ).....	21
Figura 8. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio ( $T_1 = 60\text{ }^\circ\text{C}$ ; $W_1= 3\text{ m/s}$ ; $W_2 = 3,5\text{ m/s}$ ; $W_3 = 4\text{ m/s}$ ).....	22
Figura 9. Humedad residual en función del tiempo ( $T_1 = 40\text{ }^\circ\text{C}$ ; $W_1 = 3\text{ m/s}$ ).....	43
Figura 10. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. ( $T_1 = 40^\circ\text{C}$ ; $V_1 = 3,0\text{ m/s}$ ).....	45
Figura 11. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. ( $T_1 = 40\text{ }^\circ\text{C}$ ; $V_1 = 3,0\text{ m/s}$ ).....	46
Figura 12. Humedad residual en función del tiempo ( $T_1 = 40\text{ }^\circ\text{C}$ ; $W_1 = 3,5\text{ m/s}$ )...	49

Figura 13. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T1 = 40 °C; V2 = 3,5 m/s).....	51
Figura 14. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T1 = 40 °C; V2 = 3,5 m/s).....	52
Figura 16. Humedad residual en función del tiempo (T1 = 40 °C; W1 = 4 m/s).....	55
Figura 15. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T1 = 40 °C; V3 = 4,0 m/s).....	57
Figura 16. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T1 = 40 °C; V3 = 4,0 m/s).....	58
Figura 17. Humedad residual en función del tiempo (T1 = 50 °C; W1 = 3 m/s).....	61
Figura 18. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T2 = 50 °C; V1 = 3,0 m/s).....	63
Figura 19. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T2 = 50 °C; V1 = 3,0 m/s).....	64
Figura 20. Humedad residual en función del tiempo (T1 = 50 °C; W1 = 3,5 m/s)....	67
Figura 21. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T2 = 50 °C; V2 = 3,5 m/s).....	69
Figura 22. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T2 = 50 °C; V2 = 3,5 m/s).....	70
Figura 23. Humedad residual en función del tiempo (T1 = 50 °C; W = 4 m/s).....	73
Figura 24. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T2 = 50 °C; V3 = 4,0 m/s).....	75

Figura 25. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T2 = 50 °C; V3 = 4,0 m/s).....	76
Figura 26. Humedad residual en función del tiempo (T1 = 60 °C; W1 = 3,0 m/s)...	79
Figura 27. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T3 = 60 °C; V1 = 3,0 m/s).....	81
Figura 28. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T3 = 60 °C; V1 = 3,0 m/s).....	82
Figura 29. Humedad residual en función del tiempo (T1 = 60 °C; W1 = 3,5 m/s)....	85
Figura 30. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T3 = 60 °C; V2 = 3,5 m/s).....	87
Figura 31. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T3 = 60 °C; V2 = 3,5 m/s).....	88
Figura 32. Humedad residual en función del tiempo (T1 = 60 °C; W = 4 m/s).....	91
Figura 33. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T3 = 60 °C; V3 = 4,0 m/s).....	93
Figura 34. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T3 = 60 °C; V3 = 4,0 m/s).....	94

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1.	Secador de bandejas del Laboratorio de Ingeniería de la UNTRM-A.....	35
Fotografía 2.	Acondicionamiento de la balanza de triple bazo.....	35
Fotografía 3.	Medición de la temperatura y velocidad del aire.....	36
Fotografía 4.	Materia prima (ajos).....	37
Fotografía 5.	Ajos pelados.....	37
Fotografía 6.	Cortado del ajo en rodajas.....	38
Fotografía 7.	Rodajas de ajos.....	38
Fotografía 8.	Rodajas de ajos secándose en el secador de bandejas.....	39
Fotografía 9.	Muestra de ajo seco.....	39
Fotografía 10.	Harina de ajo.....	40
Fotografía 11.	Tamizado de la harina de ajo.....	40

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal determinar los parámetros para diseñar un secador de bandejas con flujo de aire caliente para (*Allium sativum* L.), provenientes del Distrito de Granada, Provincia de Chachapoyas, Región Amazonas, para secar ajos de dientes maduros. La pulpa fue cortada en rodajas de 2,00 mm de espesor y colocadas en un secador de bandejas con aire caliente de laboratorio. Se ensayaron tres temperaturas para el aire de secado (40 °C, 50 °C y 60 °C) y tres velocidades del aire de secado: 3; 3,5 y 4 m/s. Los resultados experimentales indican que la mayor similitud del color de ajos seco con su pulpa fresca y por ende de la harina obtenida, se consiguen trabajando con aire de secado a una temperatura de 50 °C y velocidad de 3,5 m/s; con estas condiciones del aire el tiempo crítico de secado fue de 60 minutos, la humedad crítica de 0,65 g agua/g ajo seco, la humedad de equilibrio de 0,02 g agua/g ajo seco. Los resultados experimentales se procesaron con SPSS 15.0, para obtener la ecuación representativa de la parte recta y de la curva de la gráfica de humedad residual vs tiempo, las que vienen a ser el modelo matemático correspondiente. A velocidad del aire mayor o igual a 3,0 m/s y a cualquiera de las temperaturas del aire empleadas, la curva de velocidad de secado decreciente se representa mejor por una ecuación exponencial.

**Palabras clave:** cinética, harina, ajo

## ABSTRACT

The present research had as main objective to determine the parameters to design a tray dryer with hot air flow (*Allium sativum* L.), from the District of Granada, Province of Chachapoyas, Amazonas region to dry mature garlic cloves. The pulp was cut into slices of 2.00 mm thick and placed in a tray dryer with hot air in the laboratory. Three temperatures were tested for drying air (40 ° C, 50 ° C and 60 ° C) and three-speed drying air 3, 3.5 and 4 m / s. The experimental results indicate that the most similar color in the pulp dry garlic and fresh flour thus obtained was achieved by working with drying air at a temperature of 50 ° C and velocity of 3.5 m / s, with these air conditions critical drying time was 60 minutes, the critical humidity of 0.65 g water / g dry garlic, equilibrium humidity of 0.02 g water / g dry garlic. The experimental results were processed with SPSS 15.0, to obtain the equation representative of the straight part of the curve of the graph of residual humidity vs time, which come to be the mathematical model accordingly. A air speed greater than or equal to 3.0 m / s and any air temperatures employed, the drying rate curve is better represented by decreasing exponential equation.

**Keywords:** kinetics, flour, garlic

## I. INTRODUCCIÓN

El ajo ha sido ampliamente estudiado pues contiene una gran cantidad de compuestos nutraceuticos. Siendo la alicina el principal de ellos, es altamente reactivo y difícil de medir (Kaye y col., 2002). El ajo fresco no tiene alicina, pero si se corta, machaca o se fractura, se pone en contacto sus precursores, la aliina y la alinasa que reaccionan para formar la alicina, ácido pirúvico y amoniaco (Bhagyalakshmi y cols, 2005). Sin embargo, la preservación de la alicina es complicada por su naturaleza inestable y reactiva; una vez que se forma la alicina, ésta se transforma fácilmente en otros compuestos (Ratti y cols., 2007), y pierde sus propiedades nutraceuticas durante el almacenamiento.

Cavallito y Bailey (1994), encontraron que el responsable de las características antibacterianas y antifungicas del ajo es la alicina, la cual es un producto de la conversión enzimática de la aliina, uno de los precursores de los organosulfuros presentes en el ajo. Otros estudios más recientes han encontrado que la alicina posee efectos antitrombóticos y anticancerígenos (Miron y cols., 2002).

El secado es uno de los métodos de conservación más adecuado para el ajo, porque la pérdida de capacidad de formación de la alicina es menor que con otros métodos de conservación (Cui y cols., 2003; Song y Milner, 2001) como lo confirman los estudios de diferentes procesos de secado del ajo que concluyen que hay una disminución en la capacidad de formación de alicina (Sharma y Prasad, 2001; Cui y col, 2003; Sacilik y Unal, 2005; Ratti y col. 2007) cuando se utiliza un secado convectivo con temperatura constante. Sin embargo, aunque las pérdidas de los precursores son importantes es posible obtener cantidades aceptables de alicina una vez que los precursores son puestos en contacto. De acuerdo a la farmacopea Britanica (1998), el contenido mínimo de alicina para asegurar la viabilidad farmacéutica y económica de los productos de ajo en polvo debe de ser de 4.5 mg/g. Para lograrlo es necesario utilizar un proceso de secado que disminuya las pérdidas de capacidad de formación de alicina en un ajo a un precio accesible y poder competir en el mercado de alimentos nutraceuticos.

El ajo es una de las principales hortalizas cultivadas en el mundo, teniendo como mayores productores a nivel mundial China con 55,35 % e India con 13,68 % del mercado mundial; el Perú ocupa el 1,04% del mercado mundial. Donde las regiones La Libertad y Piura

ocupan el 78% del mercado nacional. El ajo es muy cultivado debido a las propiedades culinarias, medicinales e insecticidas que posee. Estos beneficios atribuidos al ajo y sus preparaciones, están estrechamente ligados a sus compuestos químicos como proteínas, grasas, carbohidratos, fibra, ceniza, dimetilsulfito, aceites esenciales, minerales como K, P, Mg, Na, Ca, Fe, Se, etc.

Tabla 1. Composición nutritiva de 100 g de parte comestible de ajo.

<b>Componente</b>	<b>Ajo Crudo</b>
<b>Agua</b>	63,3%
<b>Carbohidratos</b>	27,7%
<b>Proteína</b>	6,7%
<b>Lípidos</b>	0,49%
<b>Calcio</b>	42,0 mg
<b>Fosforo</b>	280 mg
<b>Fierro</b>	0,5 mg
<b>Potasio</b>	494,0 mg
<b>Sodio</b>	9,0 mg
<b>Vitamina A</b>	UI
<b>Tiamina</b>	0,21 mg
<b>Riboflavina</b>	0,11 mg
<b>Niacina</b>	0,9 mg
<b>Acido ascórbico</b>	7,1 mg
<b>Valor energético</b>	126,0 cal

Fuente: Adaptado de Schmidt-Hebbel y cols., 1992, citado por Krarup y Moreira, 1998.

La importancia y el potencial del ajo hacen que tenga demanda en los mercados regionales, nacional e internacional. El uso principal del ajo es alimenticio y medicinal; tradicionalmente la parte comestible ha sido el fruto fresco y como saborizante, la mayor importancia que le han tomado es en el campo medicinal ya que tiene importantes propiedades nutraceuticas.

En el distrito de Granada la producción de ajos es de forma artesanal, y cada vez se está perdiendo la importancia de este cultivo, ya que el rendimiento de producción es mínimo,

siendo de 3,8 Tm/ha, y la producción solo se destina para auto consumo en fresco como saborizante para los alimentos.

El secado con condiciones variables de temperatura es una alternativa para conservar las propiedades nutraceuticas del ajo. Gómez (2008) evaluó el contenido de ácido pirúvico en muestras de ajo deshidratado por secado convectivo con condiciones constantes (40, 50 y 60 °C) y variables con perfiles de temperatura cíclica en formas de onda pseudocuadrada, con ciclos de 40 °C a 60 °C (ascendente) y 60 °C a 40 °C (descendente). Con el objetivo de evaluar la capacidad de formación de ácido pirúvico en el ajo durante el secado constante y variable. Para esto las muestras de ajo frescas, se cortaron en rodajas de  $1,98 \pm 0,2$  mm de espesor. Y utilizó el método modificado de Schwimer y Weston para la determinación de ácido pirúvico, como una medida indirecta del contenido de alicina en el ajo.

Durante los experimentos de deshidratación, la velocidad del aire se mantuvo estable en 1,5 m/s. La temperatura y el tiempo de secado tuvieron efectos importantes en la cinética de ácido pirúvico. Se presentó mayor capacidad de formación de ácido pirúvico en el secado con condiciones variables. Se analizó también en ese trabajo la relación entre la pérdida de ácido pirúvico y el encogimiento, que se calculó con las medidas de cambio de volumen. Se presentó mayor encogimiento y colapso a la temperatura de 60 °C y menor a 40°C; encontraron que ambos son causados principalmente por la tensión desarrollada y por los gradientes de humedad. Se encontró una relación entre la pérdida de ácido pirúvico y el encogimiento del material. Esto sugiere que la destrucción de la estructura celular causada por el colapso al inicio del secado y la concentración de compuestos cuando el contenido de humedad del material es muy bajo al final del secado, causa la pérdida de los precursores (alicina y alicinasa) (Gómez, 2008).

Con aire a 50°C y 3,5 m/s, el tiempo de secado de rodajas de 0,5 cm de espesor aproximadamente, de mesocarpio de guayaba (*Psidium guajaba* L.) fue de 3,05 horas en promedio, alcanzando una humedad crítica ( $Y_c$ ) de 0,13 g agua/g guayaba seca, el tiempo crítico ( $t_c$ ) fue de 71 minutos y la humedad de equilibrio ( $Y_{eq}$ ) fue de 0,05 g agua/g guayaba seca (Meléndez y Pedraza, 2011).

En un secador de bandejas con aire a una temperatura de 60°C y velocidad de 3,0 m/s durante 115 minutos, la humedad en base húmeda de rodajas de 0,3 cm de espesor aproximadamente, del hongo comestible *Suillus luteus* bajó hasta 12%, lo que facilitará su

conservación y rehidratación para su consumo como alimento fresco (Orosco y Trigo, 2011).

La temperatura y velocidad del aire de secado que proporcionan el menor tiempo (3 horas) para el secado de hojuelas de plátano (*Musa acuminata* variedad inguiri) de 0,3 cm de espesor son de 50°C y 3,5 m/s, respectivamente. Los parámetros cinéticos son: tiempo crítico de secado 5,4 minutos, humedad crítica 1,2 g agua/g plátano seco y humedad de equilibrio de 0,1 g agua/g plátano seco (Barrena y cols. 2009a).

Las condiciones a las cuales se conserva el color de la pulpa seca similar a la fresca y que permitirán obtener una harina de lúcuma (*Pouteria lucuma* L.) de calidad son las siguientes: se debe secar rodajas de pulpa de 0,3 cm de espesor en un secador de bandejas con aire a una temperatura de 50 °C y velocidad de 3,5 m/s; que dará un tiempo crítico de secado de 40 minutos, humedad crítica de 0,48 g agua/g lúcuma seca, humedad de equilibrio de 0,04 g agua/g lúcuma seca y velocidad de secado de 0,020 g agua/g lúcuma seca.minuto; estos son los parámetros cinéticos de secado de lúcuma en el secador de bandejas. En estas condiciones de secado, será suficiente 85 minutos para que la humedad en base húmeda de la pulpa baje hasta 10%, lo que facilitará su molienda y empaque seguro como harina de lúcuma (Barrena y cols., 2009b).

El principal objetivo del secado es reducir la humedad a niveles tales que no se produzca descomposición durante la manipulación y almacenamiento posterior de los productos agrícolas; para ello, se hace circular aire con capacidad para extraer agua de la materia, en consecuencia la capacidad de extracción de agua del aire esta en relación a su humedad relativa (Giambastiani y Rubiolo, 2002).

A continuación se definen los términos empleados para describir el contenido de humedad de las sustancias (Ocón y Tojo, 1980; Perry y Chilton, 1982 y Geankoplis, 1993).

**Contenido de humedad en base seca**, es la que expresa la humedad de un material como porcentaje del peso de sólido seco. Se define como:

$$Y_s = [(masa sólido a secar - masa sólido seco) / masa sólido seco] \times 100$$

**Contenido de humedad en 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.

**Contenido crítico de humedad ( $Y_c$ )**, es el contenido de humedad promedio cuando concluye el periodo de velocidad constante.

**Contenido de humedad libre ( $Y_l$ ) o humedad residual ( $Y_r$ )**, es el líquido que se puede separar a una temperatura y humedad dadas. Este valor llega a incluir tanto la humedad ocluida como la no ocluida (retenida). Si  $m$  es el peso del sólido húmedo (agua más sólido seco) en kg, y  $S$  es el peso del sólido seco en kg:  $Y_r = (m - S) / S$ .

**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.

**Periodo de velocidad decreciente**, es el tiempo de secado durante el cual la velocidad instantánea de secado disminuye en forma continua.

Para reducir el contenido de humedad de diversos materiales, se debe evaluar experimentalmente las diferentes condiciones de velocidad y temperatura del aire empleado, y el tiempo requerido para lograr el grado de secado deseado. Las mediciones de velocidad del secado por lotes se obtienen a partir de datos experimentales y proporcionan mucha información para la operación por lotes y también para la continua (Ocón y Tojo, 1980).

Usando los valores de  $Y_r$  calculados se hace una gráfica del contenido de humedad residual en función del tiempo (Figura 1). Para obtener la curva de velocidad de secado se calcula  $-dY/dt$  para distintos contenidos de humedad (Figura 1) (Ocón y Tojo, 1980).

La velocidad del aire de secado ( $W$ ) influye sobre esta operación. A mayor velocidad, menor tiempo de secado; sin embargo, para una muestra dada, a cualquier velocidad del aire, manteniendo su temperatura constante, la humedad crítica ( $Y_c$ ) y la humedad de equilibrio ( $Y_{eq}$ ) no variarán (Vernon, 2000).

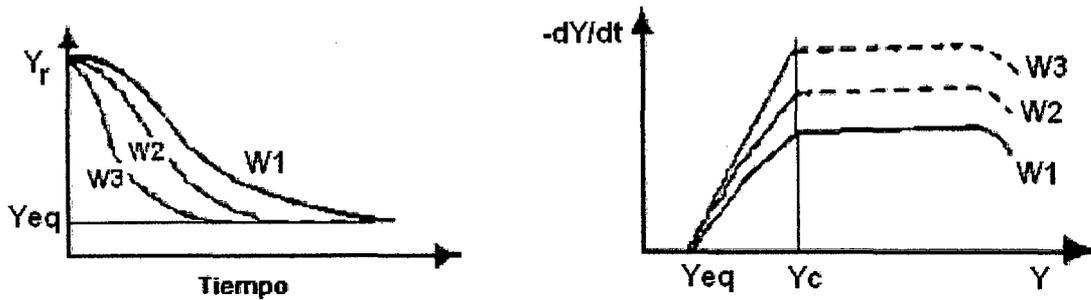


Figura 1. Influencia de la velocidad del aire ( $W$ ) sobre la operación de secado, a temperatura constante.  $W_3 > W_2 > W_1$ . Fuente: Vernon, 2000.

Un secador de bandejas es un equipo totalmente cerrado y aislado en el cual los sólidos se colocan sobre bandejas perforadas o de malla metálica. La transmisión de calor es directa del aire a los sólidos, utilizando la circulación de grandes volúmenes de aire caliente (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 el 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 (Vernon, 2000; Perry y Chilton, 1982).

Se determinó la influencia de la cinética de secado de ajos a tres velocidades del aire de secado paralelo a la muestra, a tres temperaturas diferentes, y se determinó su efecto sobre la conservación del color del ajo seco similar al fresco. Para ello se seleccionó como temperaturas de trabajo del aire de 40, 50 y 60 °C y velocidades del aire de secado de 3; 3,5 y 4 m/s.

Los resultados experimentales se analizaron con el software SPSS 15.0 para Windows, con la finalidad de obtener las ecuaciones correspondientes a la parte recta y a la parte curva de las gráficas de los resultados experimentales. Esas ecuaciones se constituyen en el modelo matemático de la cinética del secado de ajos a cada una de las temperaturas y velocidades del aire de secado ensayadas.

## II. MATERIAL Y MÉTODO

### 2.1. Materia prima.

Se utilizó frutos maduros de Ajo (*Allium sativum* L.), proveniente del Distrito de Granada, Provincia de Chachapoyas, Región Amazonas. Los cuales fueron seleccionados por su tamaño homogéneo ideales para la investigación.

### 2.2. Equipo experimental

El secador de bandejas de laboratorio consta 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 del aire, ambos montados en una estructura a una altura confortable para tener condiciones de trabajo adecuadas (Fotografía 1, Anexo 1).

El aire se calienta por medio de seis resistencias eléctricas instaladas en el ducto y activadas por un regulador electrónico de temperatura, que permite calentar el aire hasta un máximo de 80°C. El aire pasa por el ducto y llega a una cabina que tiene 4 bandejas sobre las que se coloca el material a secar, soportadas en una estructura que permite el paso de la corriente de aire en flujo paralelo. Las 04 bandejas son colocadas o retiradas de la cabina a través de dos puertas laterales que tienen vidrio para poder visualizarlas desde el exterior. El soporte de las bandejas cuelga de una balanza que permite medir la masa en cualquier momento durante el secado.

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 colocó sobre la puerta de la cabina.

### 2.3. Procedimiento experimental

#### 2.3.1. Cinética de secado del ajo.

En el presente trabajo de investigación se emplearon tres temperaturas (40 °C, 50 °C y 60 °C) del aire de secado con las siguientes velocidades del aire: 3 m/s, 3,5 m/s y 4 m/s. Al inicio de cada corrida experimental se verificó la temperatura y la velocidad del aire de acuerdo a lo planificado para esta investigación. Enseguida se pesó el soporte junto con las cuatro bandejas

metálica (SB). Con cada temperatura se evaluaron las tres velocidades del aire. De cada experimento se hicieron.

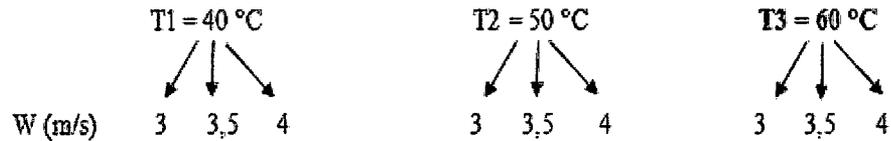


Figura 2. Plan experimental, a cada temperatura se evaluaron tres velocidades del aire de secado.

### 2.3.2. Selección y acondicionamiento de la materia prima

Se utilizó los dientes de ajos maduros, eligiendo los de tamaño uniforme y que no presenten signos de pudrición, manchado, etc. Se procedió al lavado, se pelaron manualmente, luego se procedió a cortar rodajas de 2,00 mm aproximadamente. y se colocaron ordenadamente sobre cada una de las bandejas de malla metálica del secador de bandejas con flujo de aire caliente (Anexo 1).

Para secar las rodajas de ajos se empleó una corriente de aire forzado por un soplador de velocidad regulable que permitió fijar cada una de las velocidades de trabajo (3; 3,5 y 4 m/s) las que se midieron con un anemómetro digital en la boca de salida del aire después de haber pasado por la cámara de secado. El aire pasó a través de un ducto que tiene seis resistencias eléctricas de 1500 W cada una, donde se calentó hasta temperaturas de (40, 50 y 60 °C), la que se midió en la cámara de secado, se reguló y estabilizó mediante un termostato. El aire caliente ingresó inmediatamente a la cámara de secado que contenía las bandejas de malla metálica con las rodajas de ajos. El soporte de las bandejas se colgó de una balanza de triple brazo ubicada sobre la cámara de secado, con la cual se midió la masa del conjunto (soporte, bandejas y rodajas de ajos) cada 10 minutos (P1), desde el inicio de la operación de secado (tiempo cero) hasta el final (610 minutos como máximo), tiempo en el cual se habrá reducido la humedad de rodajas de ajos hasta su humedad de equilibrio. Al final de este tiempo, las rodajas

de ajos de las bandejas se colocaron en la estufa a 90 °C, para secarlas hasta peso constante, para determinar el peso seco del ajo (S). Los datos experimentales se registraron y procesaron como se muestra en las Tablas de la sección de resultados (Anexo 4, 5 y 6).

Se sacó la muestra seca de la estufa y se procedió a moler en un molino manual obteniendo la harina de ajo, luego se tamizó y se realizó el análisis granulométrico, se procedió al envasado en bolsas de alupol y se almacenó en ambientes secos. La harina de mejor calidad organoléptica y granulométrica sirvió para realizar el análisis fisicoquímico, microbiológico y sensorial.

### **2.3.3. Análisis granulométrico**

Se realizó mediante el tamizado con mallas N° 50; 100 y 140. Se logró obtener el % del índice de cernido y el % del índice de rechazo.

### **2.3.4. Análisis estadístico.**

Se tomó como base los resultados experimentales de la determinación de la cinética de secado de ajos, los cuales fueron procesados con el software estadístico SPSS 15.0 para Windows, para obtener las ecuaciones correspondientes a la parte lineal y no lineal de cada una de las curvas de secado (humedad residual vs tiempo). El software SPSS permitió determinar la ecuación correspondiente a la parte lineal y no lineal (curva logarítmica o exponencial). Las ecuaciones constituyeron el modelo matemático de la cinética de secado de ajo para cada temperatura y velocidad del aire de secado experimentado.

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Características del ajo

Los dientes maduros del ajo (*Allium sativum* L.) en peso promedio fue de 4.850 kg, el rendimiento promedio fue de 90.78 % de pulpa y 9,22 % de cáscara. Con una humedad inicial del ajo en base húmeda de 68.1%.

#### 3.2. Cinética de secado de ajos

El peso de las rodajas de ajos cada 10 minutos (t) se calculó con la siguiente fórmula:  $P_2 = P_1 - SB$

Para calcular la humedad residual de las rodajas de ajos cada 10 minutos se empleó la siguiente fórmula:  $Y = (P_2 - S)/S$

La variación de la humedad con el tiempo ( $-dY/dt$ ) se calculó con la siguiente fórmula:  $-dY/dt = (Y_i - Y_{i+1}) / (t_i - t_{i+1})$

Para calcular la humedad residual promedio ( $Y_m$ ) se empleó la siguiente fórmula:  $Y_m = (Y_i + Y_{i+1}) / 2$

Los resultados experimentales de las repeticiones realizadas para cada par temperatura-velocidad del aire de secado mostraban la misma tendencia por lo que se consideraron únicamente como una confirmación. Los resultados de las corridas experimentales de secado de rodajas de ajos seco realizados con aire a 40 °C y velocidades de 3; 3,5 y 4 m/s se muestran en la Figura 3 (datos experimentales en el Anexo 4); donde se aprecia que la humedad crítica ( $Y_c$ ) fue 0,61 g agua/g ajo seco y la humedad de equilibrio ( $Y_{eq}$ ) fue 0,02 g agua/g ajo seco, valores que no variaron a pesar de haber empleado diferentes velocidades del aire de secado, manteniendo constante la temperatura. El tiempo crítico ( $t_c$ ) de secado disminuyó conforme aumentó la velocidad del aire de secado.

Los valores de humedad del ajo al inicio fueron similares. Se presentan las curvas en una sola figura para visualizar la diferencia entre ellas y que la humedad crítica y la humedad de equilibrio se mantienen constantes pero el tiempo crítico va disminuyendo al aumentar la velocidad de secado.

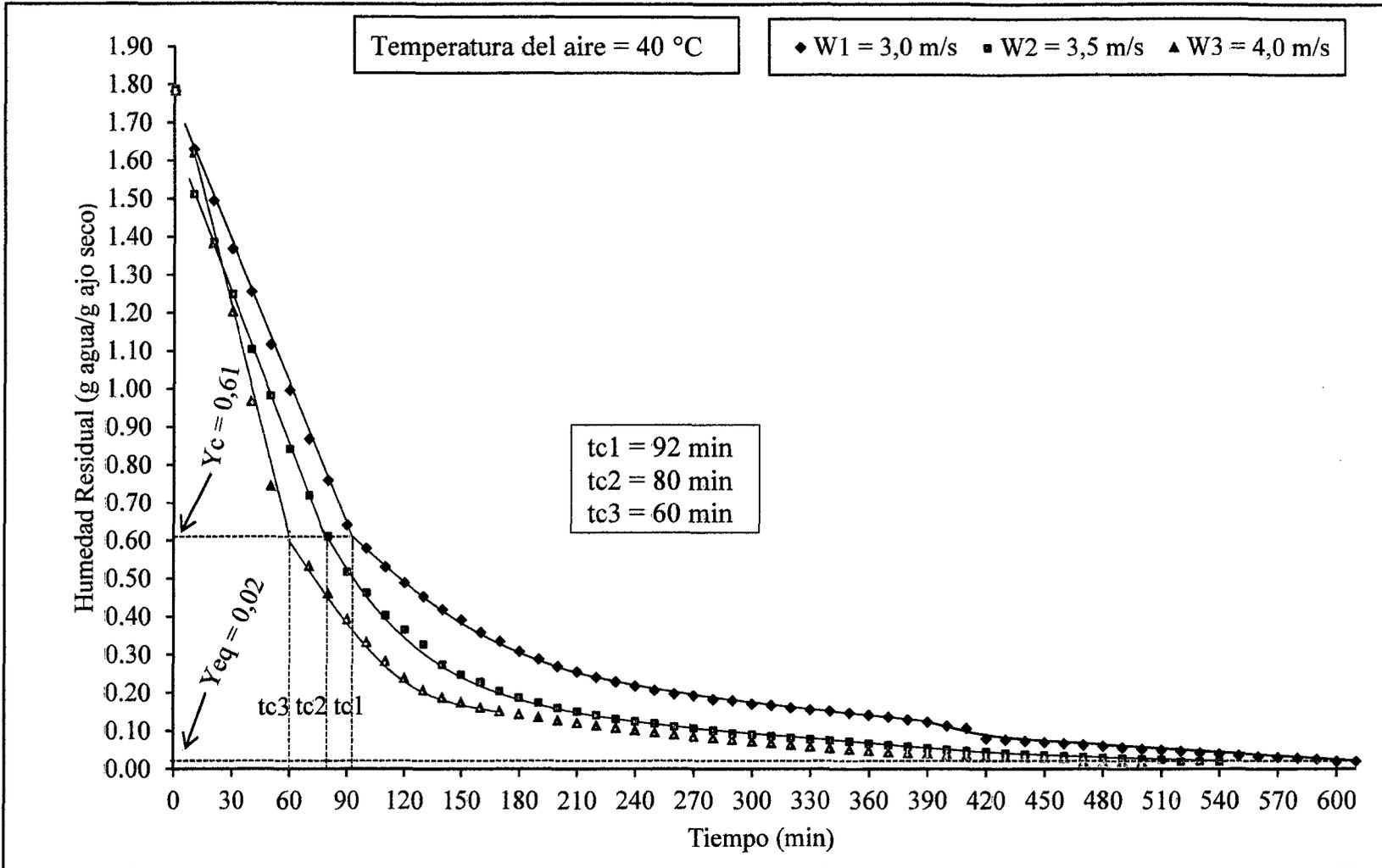


Figura 3. Humedad residual en función del tiempo (T1=40 °C; W1= 3 m/s; W2= 2,5 m/s; W3= 3,5 m/s).

Los resultados de las corridas experimentales de secado de ajos realizados con aire a 50 °C y velocidad de 3,5 m/s se muestran en la Tabla 2; y en la Figura 4 los resultados obtenidos a las tres velocidades ensayadas (Anexo 5), donde se aprecia la misma tendencia que en la Figura 3, pero la humedad crítica  $Y_c$  fue 0,65 g agua/g ajo seco y la humedad de equilibrio  $Y_{eq}$  fue 0,02 g agua/g ajo seco.

Tabla 2. Datos experimentales de secado de rodajas de ajos, en el secador de bandejas con flujo de aire caliente a 50°C y velocidad de 3,5 m/s (SB = 1539,5 g S = 179,8 g).

	t	P1	P2 = P1-SB	(P2-S)/S		
Nº	Tiempo (min)	Peso bandejas + ajo al tiempo t (g)	Peso ajo al tiempo t (g)	Humedad residual (g agua/g ajo seco)	dY/dt (g agua/g ss.min)	Ym (g agua/g ajo seco)
1	0	2039,50	500,00	1,78	0,014	1,712
2	10	2014,60	475,10	1,64	0,022	1,534
3	20	1975,50	436,00	1,42	0,020	1,324
4	30	1939,20	399,70	1,22	0,019	1,127
5	40	1904,80	365,30	1,03	0,018	0,943
6	50	1872,90	333,40	0,85	0,021	0,750
7	60	1835,50	296,00	0,65	0,005	0,620
8	70	1826,10	286,60	0,59	0,010	0,545
9	80	1808,60	269,10	0,50	0,008	0,455
10	90	1793,60	254,10	0,41	0,006	0,381
11	100	1782,10	242,60	0,35	0,004	0,327
12	110	1774,20	234,70	0,31	0,002	0,294
13	120	1770,10	230,60	0,28	0,002	0,274
14	130	1767,00	227,50	0,27	0,002	0,256
15	140	1763,80	224,30	0,25	0,002	0,239
16	150	1760,60	221,10	0,23	0,002	0,221
17	160	1757,50	218,00	0,21	0,002	0,205
18	170	1754,70	215,20	0,20	0,001	0,190
19	180	1752,10	212,60	0,18	0,001	0,176
20	190	1749,70	210,20	0,17	0,001	0,164
21	200	1747,70	208,20	0,16	0,001	0,153
22	210	1745,90	206,40	0,15	0,001	0,143
23	220	1744,30	204,80	0,14	0,001	0,135
24	230	1742,80	203,30	0,13	0,001	0,127
25	240	1741,40	201,90	0,12	0,001	0,119
26	250	1740,00	200,50	0,12	0,001	0,111
27	260	1738,60	199,10	0,11	0,001	0,103

N°	Tiempo (min)	Peso bandejas + ajo al tiempo t (g)	Peso ajo al tiempo t (g)	Humedad residual (g agua/g ajo seco)	dY/dt (g agua/g ss.min)	Ym (g agua/g ajo seco)
29	280	1736,00	196,50	0,09	0,001	0,090
30	290	1734,80	195,30	0,09	0,001	0,084
31	300	1733,90	194,40	0,08	0,001	0,077
32	310	1732,50	193,00	0,07	0,001	0,070
33	320	1731,10	191,60	0,07	0,001	0,062
34	330	1729,90	190,40	0,06	0,001	0,056
35	340	1728,70	189,20	0,05	0,001	0,049
36	350	1727,60	188,10	0,05	0,001	0,044
37	360	1726,70	187,20	0,04	0,000	0,039
38	370	1725,90	186,40	0,04	0,000	0,034
39	380	1725,10	185,60	0,03	0,000	0,031
40	390	1724,50	185,00	0,03	0,000	0,027
41	400	1723,90	184,40	0,03	0,000	0,024
42	410	1723,30	183,80	0,02	0,000	0,021
43	420	1722,90	183,40	0,02	0,000	0,019
44	430	1722,60	183,10	0,02	0,000	0,018
45	440	1722,50	183,00	0,02	0,000	0,019
46	450	1722,30	182,80	0,02	0,000	0,020
47	460	1722,30	182,80	0,02	0,000	0,020
48	470	1722,40	182,90	0,02	0,002	0,010

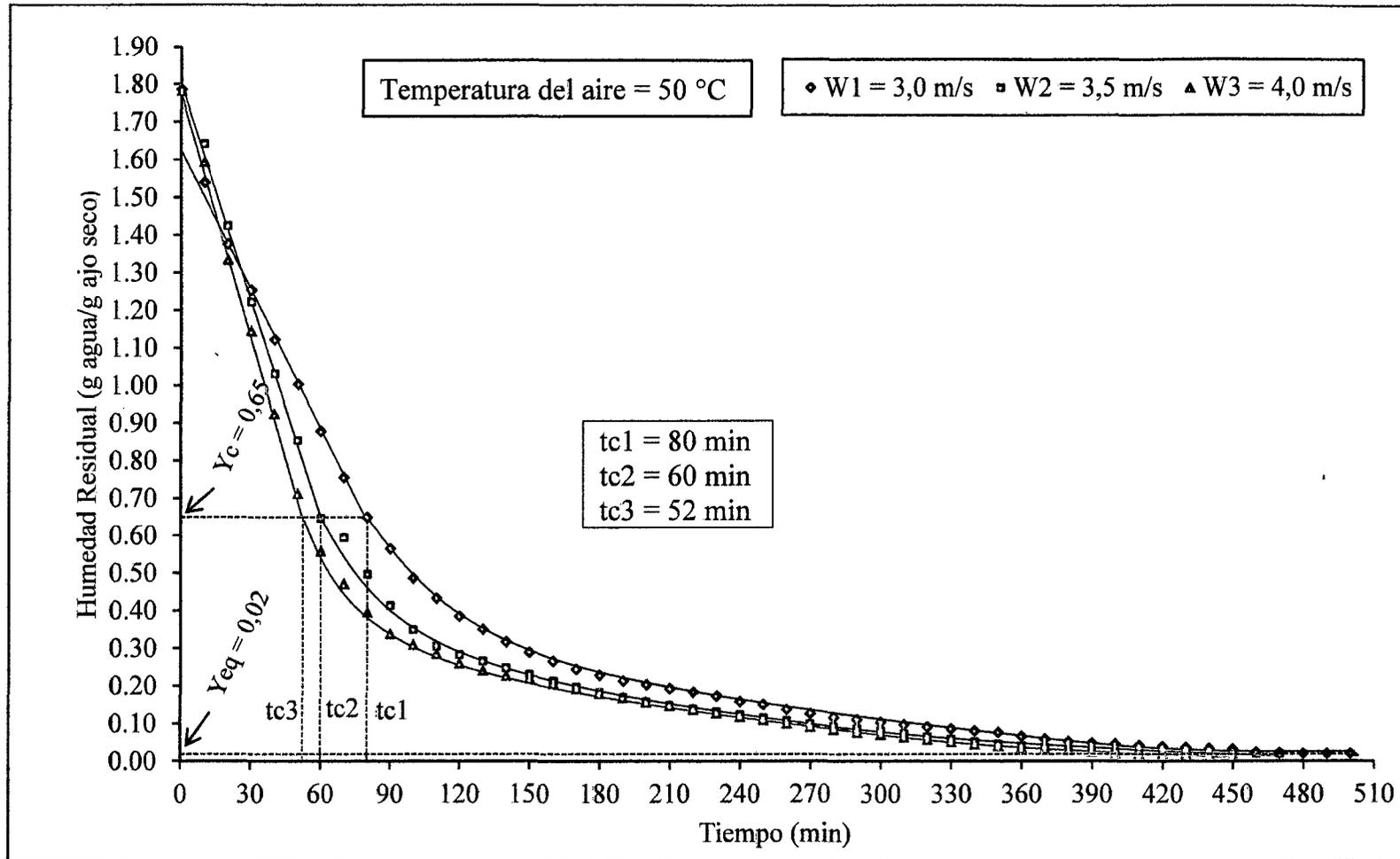


Figura 4. Humedad residual en función del tiempo ( $T_1 = 50\text{ °C}$ ;  $W_1 = 3\text{ m/s}$ ;  $W_2 = 3,5\text{ m/s}$ ;  $W_3 = 4\text{ m/s}$ )

Los resultados de las corridas experimentales de secado de rodajas de ajos con aire a 60 °C y velocidades de 3; 3,5 y 4 m/s se muestran en la Figura 5 (Anexo 6); donde se aprecia que la humedad crítica  $Y_c$  fue 0,67 g agua/g ajo seco y la humedad de equilibrio  $Y_{eq}$  fue 0,02 g agua/g ajo seco, valores que se mantuvieron constantes a pesar de haber empleado diferentes velocidades del aire de secado. El tiempo crítico mantuvo la misma tendencia que en las Figuras 3 y 4.

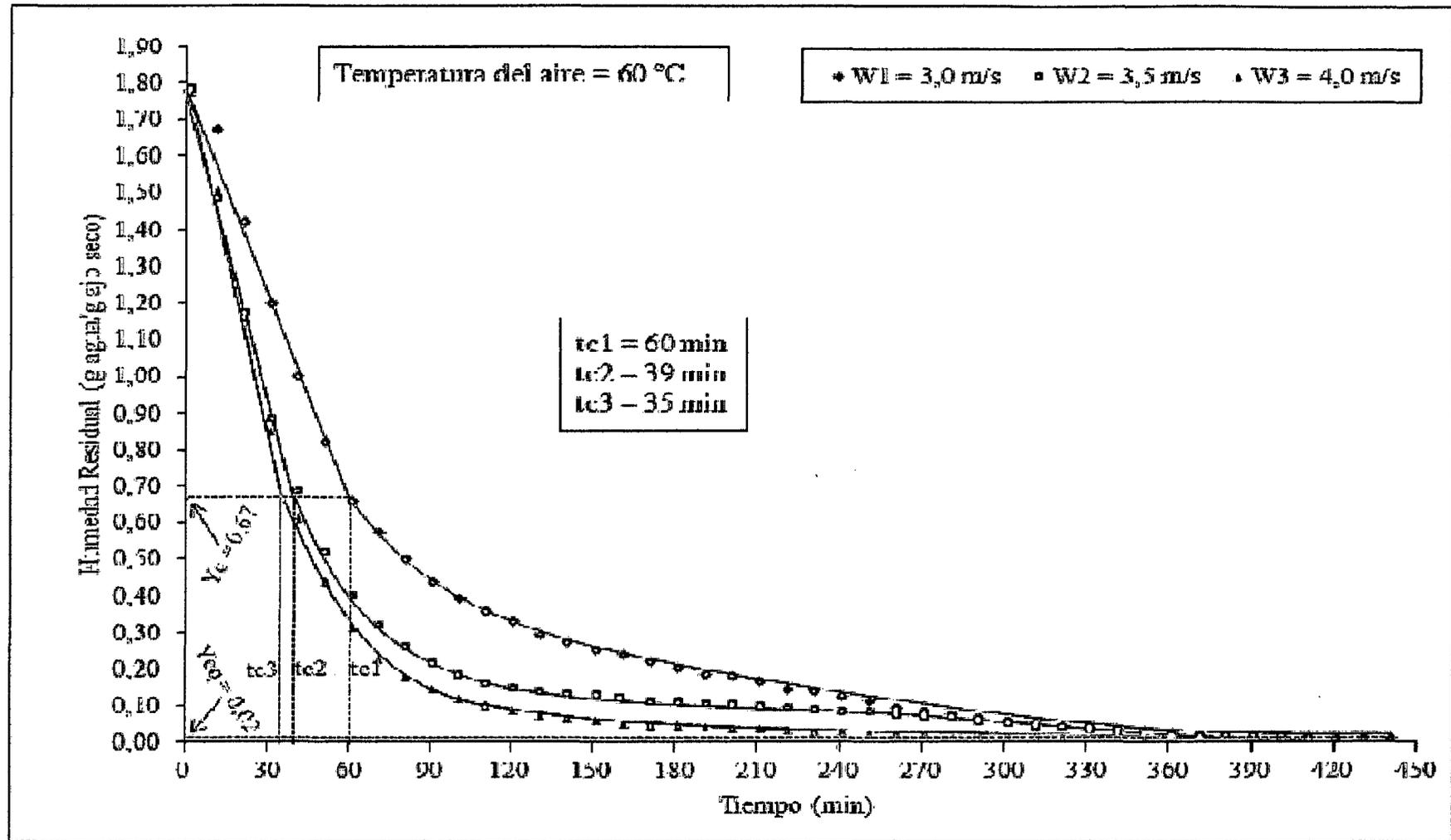


Figura 5. Humedad residual en función del tiempo (T1 = 60 °C; W1= 3 m/s; W2 = 3,5 m/s; W3 = 4 m/s)

Las bandejas con rodajas de ajos al colocarlos en el secador estaban a temperatura ambiente inferior de la cámara del secador de bandejas que estaba acondicionada de acuerdo a las temperaturas y velocidades de estudio; debido a ello, los datos iniciales tienden a generar una curva por lo que se deprecian, los siguientes datos recién se ajustan a una recta y son los que interesan. A esta primera etapa del secado se le denomina período de inducción donde se produce un calentamiento del producto, adaptándose el material a las condiciones del secado y dado que su duración es muy corta con respecto al tiempo total de secado, no se toma en cuenta para el diseño de secadores industriales (Ibary cols., 2000). La característica que muestran las curvas de secado, cuando se grafica la humedad residual vs tiempo, es una sección recta que corresponde a la etapa de secado a velocidad constante y una sección curva que corresponde a la etapa de secado a velocidad decreciente. Cuando termina la sección recta y se inicia la curva, se lee en la gráfica el tiempo crítico ( $t_c$ ) y la humedad crítica ( $Y_c$ ). Al final la curva tiene un comportamiento asintótico con el eje de las abscisas (tiempo) y permite leer en la gráfica la humedad de equilibrio ( $Y_{eq}$ ).

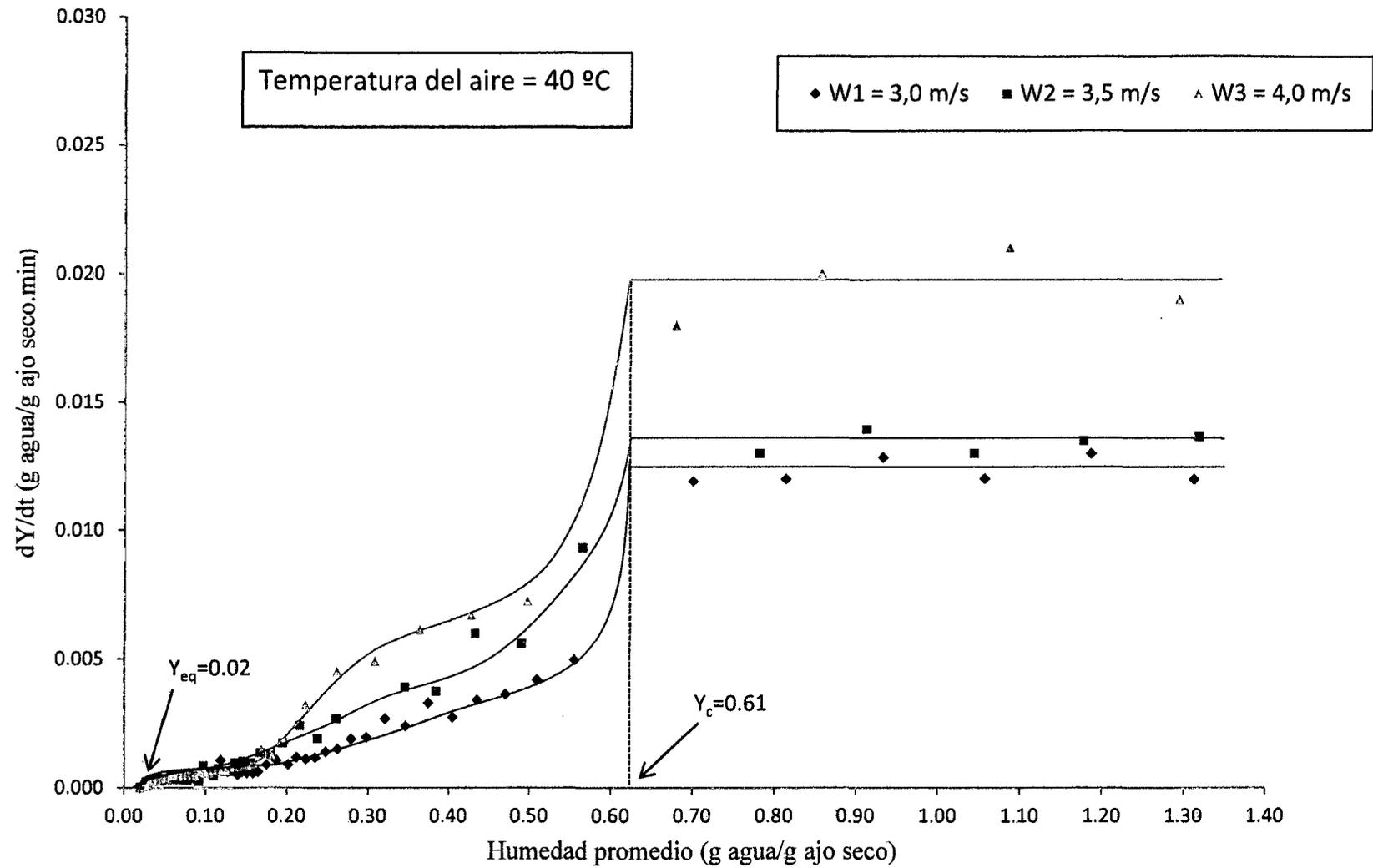


Figura 6. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio (T1 = 40 °C; W1= 3 m/s; W2 = 3,5 m/s; W3 = 4 m/s)

Las Figuras 6, 7 y 8 corresponden a las gráficas de velocidad de secado ( $dY/dT$ ) vs humedad residual promedio ( $Y_m$ ), para cada una de las temperaturas ensayadas. Se observa que al aumentar la velocidad del aire de secado, manteniendo la temperatura constante, se logra un incremento de la velocidad de secado, tal como se muestra en las Figura 6, 7 y 8; traduciéndose en la reducción del tiempo de secado.

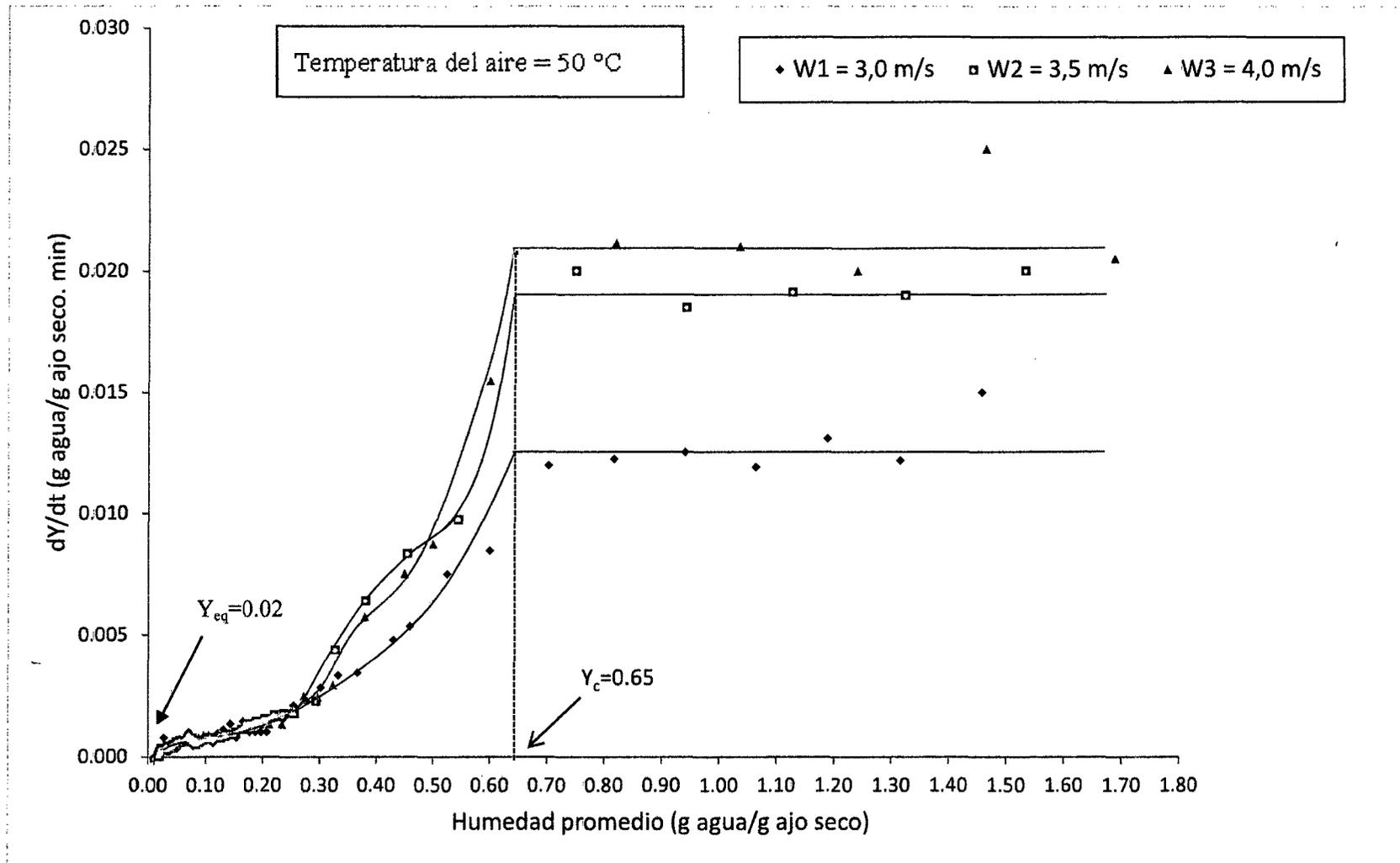


Figura 7. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio ( $T_1 = 50$  °C;  $W_1=3$  m/s;  $W_2 =3,5$  m/s;  $W_3 =4$  m/s).

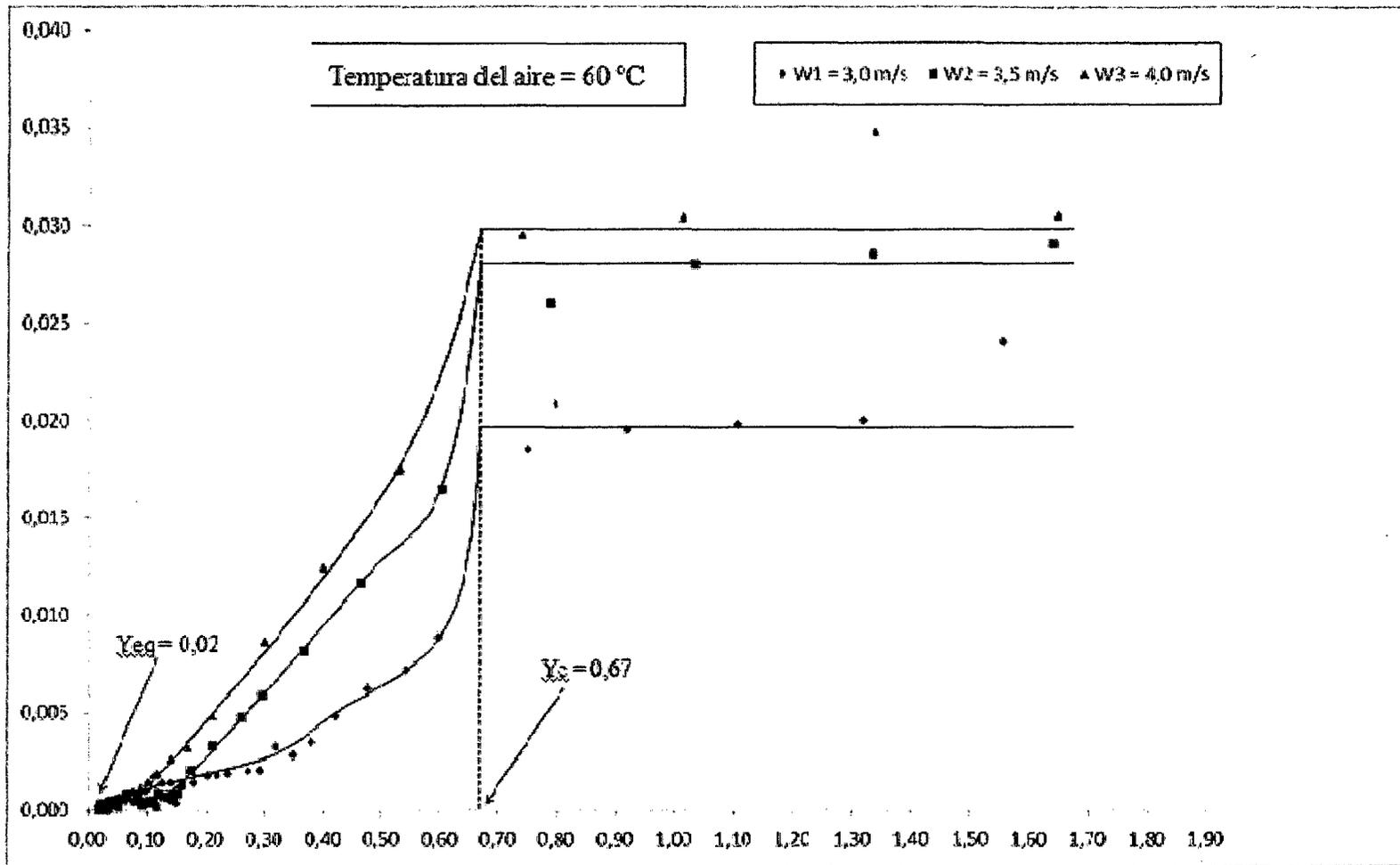


Figura 8. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio ( $T_1 = 60 \text{ °C}$ ;  $W_1 = 3 \text{ m/s}$ ;  $W_2 = 3,5 \text{ m/s}$ ;  $W_3 = 4 \text{ m/s}$ )

### 3.3. Modelo matemático de la cinética de secado de ajos

Los resultados obtenidos del secado de ajos a diferentes temperaturas y velocidad de aire fueron procesados en el software estadístico SPSS 15.0 para Windows., para obtener las ecuaciones correspondientes a la parte lineal y la parte no lineal, de cada una de las curvas de secado, siendo estas exponenciales de acuerdo a la tendencia de los valores registrados en un plano cartesiano (X, Y), las ecuaciones correspondientes se muestran en la Tabla 3.



28 ENE 2014

Tabla 3. Ecuaciones correspondientes a la parte recta y a la parte curva de cada una de las gráficas de secado obtenidas con los datos experimentales analizados con el software SPSS y sus parámetros cinéticos (Anexo 3).

Temperatura del aire (°C)	Velocidad del aire (m/s)	Ecuación de la parte recta	R <sup>2</sup>	Tiempo crítico (min)	Humedad Crítica (g agua/g ajo seco)	Ecuación de la parte curva	R <sup>2</sup>	Humedad de equilibrio (g agua/g ajo seco)
40	3	$y = -0,013t + 1,579$	0,999	92	0,61	$y = 1,007e^{(-0,006t)}$	0,983	0,02
	3,5	$y = -0,013t + 1,641$	0,999	80		$y = 0,714e^{(-0,007t)}$	0,980	
	4	$y = -0,020t + 1,794$	0,997	60		$y = 0,599e^{(-0,031t)}$	0,976	
50	3	$y = -0,013t + 1,638$	0,998	80	0,65	$Y = 1,057e^{(-0,008t)}$	0,989	0,02
	3,5	$y = -0,019t + 1,801$	0,999	60		$y = 0,906e^{(-0,009t)}$	0,987	
	4	$y = -0,021t + 1,785$	0,999	52		$y = 0,856e^{(-0,009t)}$	0,988	
60	3	$y = -0,020t + 1,819$	0,994	60	0,67	$y = 1,138e^{(-0,010t)}$	0,993	0,02
	3,5	$y = -0,028t + 1,768$	0,994	39		$y = 0,561e^{(-0,008t)}$	0,949	
	4	$y = -0,030t + 1,782$	0,997	35		$y = 0,339 e^{(-0,009t)}$	0,886	

### 3.4. Análisis granulométrico.

Se realizó el análisis granulométrico a todos los tratamientos obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 4. Tamizado de la harina de ajos secado a 40 °C

Nº Malla	Rechazo	Velocidad del aire (m/s)		
		3	3,5	4
50	<b>R1 (gr)</b>	96,83	100,6	105,24
100	<b>R2 (gr)</b>	33,1	30,47	32,53
140	<b>R3 (gr)</b>	14,12	16,07	18,96
Cernido	<b>C (gr)</b>	38,16	34,34	26,62
<b>TOTAL(gr)</b>		182,21	181,48	183,35

Tabla 5. Índice de cernido e índice de rechazo de la harina de ajos secado a 40°C

Velocidad del aire	Índice de cernido (%)	Índice de rechazo
	$I_c = (C/B) * 100$	$I_r = (R/B) * 100$
3 m/s	20,943	79,057
3,5 m/s	18,922	81,078
4 m/s	14,519	85,481

Tabla 6. Tamizado de la harina de ajos secado a 50 °C

Nº Malla	Rechazo	Velocidad del aire (m/s)		
		3	3,5	4
50	<b>R1 (gr)</b>	100,63	99,31	101,56
100	<b>R2 (gr)</b>	31,37	35,22	30,5
140	<b>R3 (gr)</b>	18,93	16,32	17,77
Cernido	<b>C (gr)</b>	29,82	30,47	28,67
<b>TOTAL (gr)</b>		180,75	181,32	178,5

Tabla 7. Índice de cernido e índice de rechazo de la harina de ajos secado a 50°C

	Índice de cernido (%)	Índice de rechazo
Velocidad del aire	$I_c = (C/B) * 100$	$I_r = (R/B) * 100$
3 m/s	16,498	83,502
3,5 m/s	16,805	83,195
4 m/s	16,062	83,938

Tabla 8. Tamizado de la harina de ajos secado a 60 °C

Nº Malla	Rechazo	Velocidad del aire (m/s)		
		3	3,5	4
50	<b>R1 (gr)</b>	100,08	104,34	105,43
100	<b>R2 (gr)</b>	32,3	30,69	28,92
140	<b>R3 (gr)</b>	16,45	12,63	17,78
Cernido	<b>C (gr)</b>	32,82	33,46	29,91
<b>TOTAL (gr)</b>		181,65	181,12	182,04

Tabla 9. Índice de cernido e índice de rechazo de la harina de ajos secado a 60°C

	Índice de cernido (%)	Índice de rechazo
Velocidad del aire	$I_c = (C/B) * 100$	$I_r = (R/B) * 100$
3 m/s	18,068	81,932
3,5 m/s	18,474	81,526
4 m/s	16,430	83,570

#### IV. DISCUSIÓN

En base a las Figuras 3 hasta la 5, se puede asegurar que a mayor velocidad del aire de secado, menor tiempo de secado, en consecuencia también menor tiempo crítico; y para cada una de las temperaturas ensayadas, las humedades crítica ( $Y_c$ ) y de equilibrio ( $Y_{eq}$ ) no varían con el incremento de la velocidad, como se observa en las Figuras 6 a la 8. Esto concuerda con lo encontrado por Vernon (2000), Meléndez y Pedraza (2011), Orosco y Trigos (2011), Barrena y cols (2009 a,b).

Se puede deducir que a mayor temperatura del aire de secado, sin que influya la velocidad del aire, la humedad crítica aumenta mientras que la humedad de equilibrio se mantiene constante. Esto se debe a que a mayor temperatura, la humedad superficial es retirada más rápido de lo que migra del interior del cuerpo hacia su superficie.

En el secado de las rodajas de ajos se observó que mientras más alta sea la temperatura y la velocidad del aire de secado, el tiempo de secado es más corto, pero si la temperatura y la velocidad del aire son más bajos, el tiempo de secado se prolonga, lo que coincide con lo obtenido por Barrena y cols., (2009a y 2009b). Que la mayor velocidad y la mayor temperatura del aire en la operación del secador de bandejas, reduce el tiempo de secado; y las temperaturas muy altas afectan la calidad de la pulpa de lúcumo seca producida.

Para secar las rodajas de ajos, se utilizó el secador de bandejas. El secado por aire caliente es una técnica que utiliza energía limpia y renovable (Togrul y Pehlivan, 2003). Sin embargo el secador de vegetales con altas temperaturas afecta a las propiedades sensoriales del producto y su valor nutricional (Jarayaman y Das Gupta, 1995), por lo que la temperatura de secado es una variable a tener en cuenta en los estudios de cinética de secado, pues aunque temperaturas elevadas pudieran acelerar el proceso, la pérdida de calidad del producto no compensaría la reducción de tiempo de proceso (Vega y Lemus, 2006). Por otra parte, la cinética del proceso de secado depende tanto de la geometría y espesor del producto como de las propiedades del aire de secado, como son la humedad relativa ambiental, temperatura y velocidad del aire (Krokida y cols., 2003).

Las curvas de velocidad de secado de pulpa de papaya en función de la humedad de secado, se desarrollaron en su gran trayectoria en el periodo de velocidad decreciente, confirmado por (Ortiz, 2003), donde concluye que el secado de plátano se desarrolla

principalmente en el periodo de velocidad decreciente, como es el caso común de todas las frutas, también Vega y Lemus, (2006), a diferentes temperaturas (40, 50, 60, 70 y 80 °C) con velocidad de aire de  $2,0 \pm 0,2$  m/s, durante las experiencias observaron los periodos de inducción, velocidad constante y decreciente, lo cual se confirmó con el presente trabajo de investigación.

La menor velocidad del aire implica mayor tiempo de secado, por tanto, mayor consumo de energía eléctrica para el funcionamiento del soplador y de las resistencias eléctricas para calentar el aire hasta la temperatura de trabajo. Si se realiza la operación de secado del ajo a la velocidad de 3,5 m/s, el tiempo de secado es menor y en consecuencia la operación será más económica. Los parámetros cinéticos del secado de ajos obtenidos en esta investigación permitirán diseñar un secador de bandejas para operación industrial, con el propósito de dar valor agregado a la producción de ajos y aprovechar una nueva oportunidad de poder introducir un producto nuevo al mercado, como ya lo han propuesto para guayaba Meléndez y Pedraza (2011), para el hongo *suillus lntns* Orosco y Trigos (2011) y para plátano y lúcuma Barrena y cols (2009 a,b).

Todas las corridas experimentales se realizaron hasta que la humedad residual tenía una variación mínima y se estandarizó como punto final de la operación en el secador cuando esta humedad alcanzaba el valor de 0,02 g agua/g ajo seco, que viene a ser la humedad de equilibrio, la cual tiene el mismo comportamiento con los resultados obtenidos por; Barrena y cols., (2009b), habiéndose cumplido uno de los objetivos de este trabajo de investigación de determinar los parámetros cinéticos del secado de ajos.

El tiempo crítico de secado más bajo fue de 35 minutos al trabajar con aire a 60 °C y 4 m/s; y el tiempo crítico más alto fue de 92 minutos al trabajar con aire a 40 °C y 3 m/s. Por lo que para reducir el tiempo de secado debe trabajarse a mayor temperatura.

El color de la pulpa seca similar a la fresca, que permite producir una harina de ajos de calidad, se obtienen con: el secado de rodajas de ajos de 2,00 mm de espesor, es un secador de bandejas con aire a una temperatura de 50 °C y velocidad de 3,5 m/s; que da un tiempo crítico de secado de 60 min, humedad crítica de 0,65 g agua/a ajos seco, humedad de equilibrio de 0,02 g agua/ g ajo seco, con una velocidad de secado de 0,0192 g agua/g ajos seco min; el tiempo de secado para llegar a la humedad comercial de de 6% fue de 320 min.

## V. CONCLUSIONES

- 1.- La mayor velocidad y la mayor temperatura del aire en la operación del secador de bandejas, reduce el tiempo de secado; y las temperaturas muy altas afectan la calidad del ajo seco producido.
- 2.- El color de la pulpa seca similar a la fresca, que permite producir una harina de ajos de calidad, se obtienen con: el secado de rodajas de ajos de 2,00 mm de espesor, es un secador de bandejas con aire a una temperatura de 50 °C y velocidad de 3,5 m/s; que da un tiempo crítico de secado de 60 min, humedad crítica de 0,65 g agua/a ajos seco, humedad de equilibrio de 0,02 g agua/ g ajo seco, con una velocidad de secado de 0,0192 g agua/g ajos seco min.
- 3.- La temperatura y la velocidad del aire de secado influye directamente en el color de la harina de ajos para uso en la industria alimentaria, a menor temperatura y menor velocidad, la harina es de color claro característico del producto, a mayor temperatura y velocidad del aire de secado la harina es oscura, disminuyendo su calidad de la harina.
- 4.- Las curvas de secado tienen función lineal en el periodo de velocidad constante para cada una de las temperaturas ensayadas y los diferentes valores de velocidad del aire evaluados.
- 5.- A todas las velocidades del aire de secado (3; 3,5 y 4m/s) y a cualquiera de las temperaturas del aire empleadas (40, 50 y 60°C), la curva de velocidad de secado decreciente es mejor representada por una ecuación exponencial.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- 1.- Utilizar dientes de ajos maduros y que presenten un estado de sanidad óptimo para obtener harina de calidad para su uso en la industria alimentaria.
- 2.- La harina de ajos debe ser almacenada en envases herméticos y ambientes secos por su alta sensibilidad a adquirir humedad.
- 3.- Realizar un estudio de mercado y de costos de producción para la instalación de un secador de bandejas para ajos empleando los valores óptimos de temperatura y velocidad de aire de secado.
- 4.- Diseñar un sistema de recolección de datos computarizado de la operación del secador de bandejas del Laboratorio de Ingeniería de la UNTRM, para la obtención más precisa de datos.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barrena Gurbillón, Miguel A.; Robert J. Cruzalegui Fernández; Ranulfo D. Cárdenas Alayo y Milton A. Huanes Mariños. 2009a. Cinética de secado de hojuelas de plátano (*Musa acuminata*) variedad inguiri. Pueblo Continente, Revista Oficial de la Universidad Privada Antenor Orrego. 20(1): 175-191, enero-junio.
- Barrena Gurbillón, Miguel A.; Jorge L. Maicelo Quintana; Oscar A. Gamarra Torres y Ranulfo D. Cárdenas Alayo. 2009b. Cinética de secado de lúcuma (*Pouteria lúcuma* L.). Revista Aporte Santiaguino. 2(2): 271-281, julio-diciembre. ISSN 2070-836X.
- Bhagyalakshmi, N., Thimmaraju, R., Venkatachalam, L., Chidambara, K.N. y Sreedhar, R.V. 2005. Nutraceutical Applications of Garlic and the Intervention of Biotechnology, *Critical Reviews in food Science and Nutrition*, 45:607-621.
- Cavallito C.J. y Bailey J.H. 1944. Allicin, the antibacterial principle of *allium sativum*. I. Isolation, physical properties and antibacterial action. *Journal of the American Chemical Society*, 66(11), 1950-1951.
- Cui, Z., Xu, S. y Sunz, D. 2003. Dehydration of Garlic Slices by Combined Microwave-Vacuum and Air Drying, *J. Drying Technology*, 21(7), 1173-1184.
- Geankoplis, C. 1995. Procesos de transporte y operaciones unitarias. 3a. Ed. Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. México D.F.
- Farmacopea Británica (1998), Sloane Audio for Analysis and Training.
- Giambastiani, G y Rubiolo, O. 2002. "Efectos del almacenamiento y el secado sobre la calidad de los granos".
- Gómez G. Norma. (2008). Cinéticas de ácido pirúvico durante el proceso de secado constante y variable del ajo. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias. Instituto Politécnico Nacional
- Ibarz R., A., G. V. Barbosa-Cánovas, S. Garza G. Y V. Gimeno A. (2000). "Métodos Experimentales en la Ingeniería Alimentaria". Editorial ACRIBIA S. A. Zaragoza, España.
- Jarayaman, K. S. y D. K. Das Gupta. (1995), "Drying of fruits and vegetables", In: Handbook of Industrial Drying, Mujundar, A. S. (eds), Marcel Dekker Inc., 643-690, New York, USA.

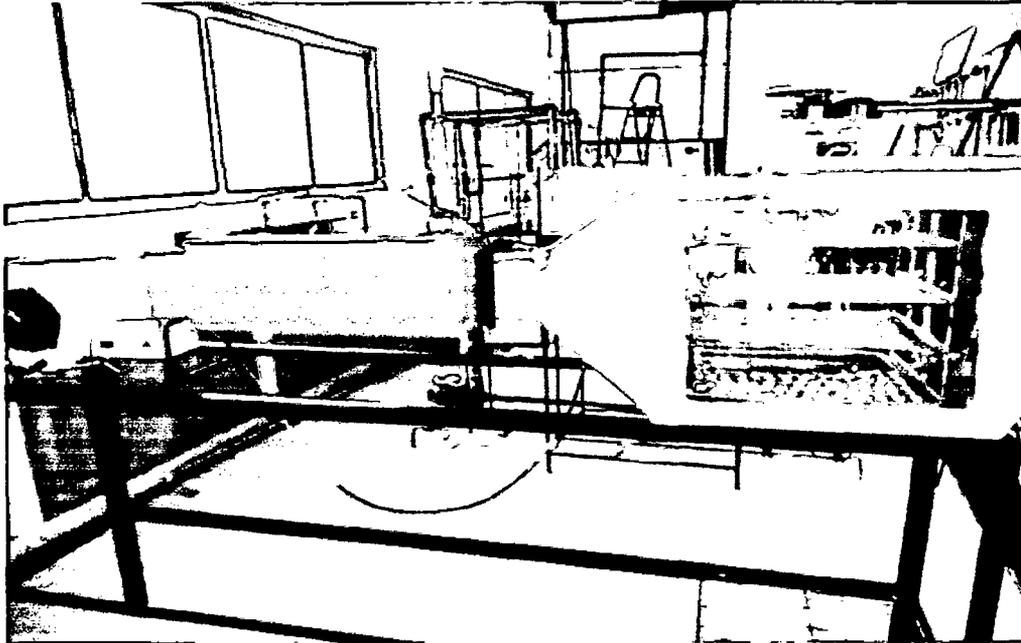
- Kaye, A.D., Kaye, A.M., Hegazi, A., Sabar, R., Deaton, B., Powell, J. y Hofbauer, R. 2002. Nutraceuticiales: Potential roles and potential risks for pain management, *World Institute of Pain*, 2(2), 122-128.
- Krokida, M. K., V. T. Karathanos, Z. B. Maroulis y D. Marinos-Kouris. 2003. "Drying kinetics of some vegetables", *Journal of Food Engineering*, 59(4), 391-403.
- Meléndez Rubio Fanny y Santos Pedraza Guevara. 2011. Influencia de la velocidad y la temperatura del aire en la obtención de harina de guayaba *Psidium guajava* L. con el máximo contenido de vitamina C. Tesis para obtener título profesional de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.
- Miron, T., Shin, I., Feignblat, G., Weiner, L., Mirelman, D., Wilchek, M. y Rabinkov, A. 2002. A spectrophotometric assay for allicin, alliin, and allinase (alliin lyase) with a chromogenic thiol: reaction of 4-mercaptopyridine with thiosulfonates, *Analytical Biochemistry*, 307, 76-83.
- Ocón G., J. y G. Tojo B. 1980. *Problemas de Ingeniería Química. Tomo II*. Editorial Aguilar S.A. 5ta. Reimpresión. España.
- Orosco Tuesta Marlith y Karin G. Rojas Trigoso. 2011. Influencia de la temperatura y velocidad del aire sobre el secado de hongos *Sullius lutus* proveniente de Luya Viejo – Región Amazonas. Tesis para obtener título profesional de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.
- Ortiz, B. 2003. Secado con bomba de calor para la deshidratación de alimentos. Tesis para obtener el Grado Académico de Licenciatura en Ingeniería Química con Área en Ingeniería de Procesos. México: Universidad de las Américas Puebla. Departamento de Ingeniería Química y Alimentos.
- Perry, J. y C. Chilton. 1982. *Manual del Ingeniero Químico*. Editorial McGraw-Hill. 2da. Edición. Bogotá.
- Ratti, C., Araya-Farias, M., Mendez-Lagunas, L. y Makhlof, J. 2007. Drying of garlic and its effect on allicin retention, *Drying Technology*, 25(2), 349-356.

- Togrul, I.T. y D. Pehlivan. (2003), “Modeling of drying kinetics of simple apricot”, *Journal of Food Engineering*: 58, 23-32.
- Sacilik, K., Unal,G. (2005), Dehydration Characteristics of Kastamonu Garlic Slices, *Journal Biosystems Engineering*, 92 (2), 207-215.
- Sherma, G.P., Prasad, S. 2001. Drying of garlic (*Allium sativum*) cloves by microwave-hot air combination, *Journal of Food Engineering*, 50, 99-105.
- Song, K. y Milner, J. (2001), Recent Advances on the Nutritional Effects Associated with Use of Garlic as a Supplement The Influence of Heating on the Anticancer Properties of Garlic, *Journal of Nutrition*, 131, 1054S-1057S.
- Vega, A.A. y R.A. Lemus. 2006. Modelado de la Cinética de Secado de la Papaya Chilena (*Vasconcellea pubescens*). *Inf. tecnol.* [online]. Vol.17, no.3 [citado 29 Junio 2008], p.23-31. Disponible en la World Wide Web: <[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642006000300005&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642006000300005&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 0718-0764.
- Vernon C., J. 2000. Laboratorio de Operaciones Unitarias. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. México.

## **ANEXO**

## ANEXO 1

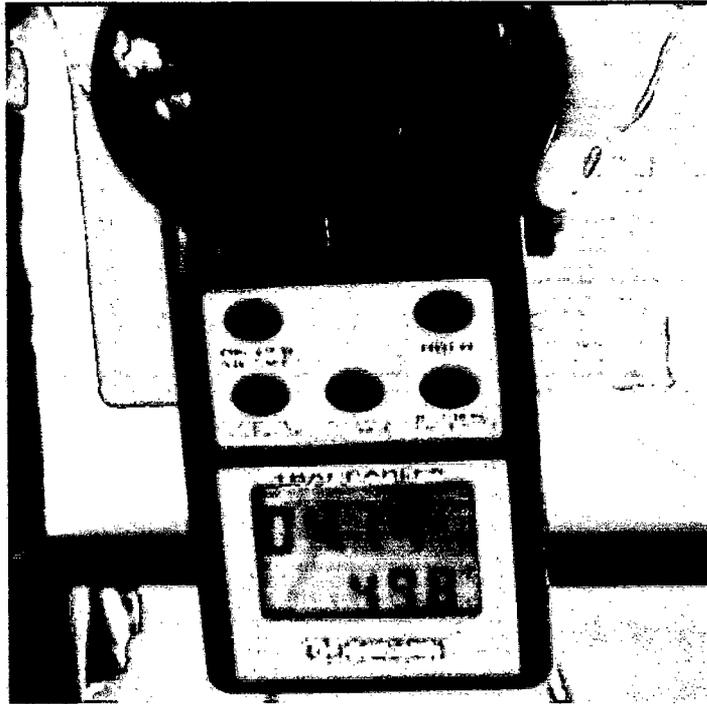
### Acondicionamiento del equipo experimental



Fotografía 1: Secador de bandejas del Laboratorio de Ingeniería de la UNTRM-A



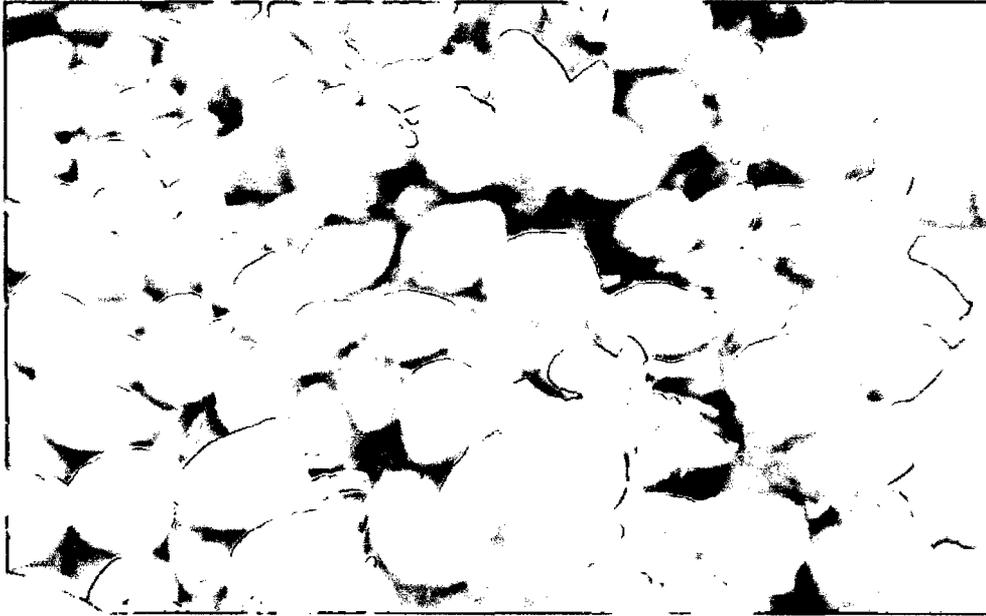
Fotografía 2. Acondicionamiento de la balanza de triple bazo.



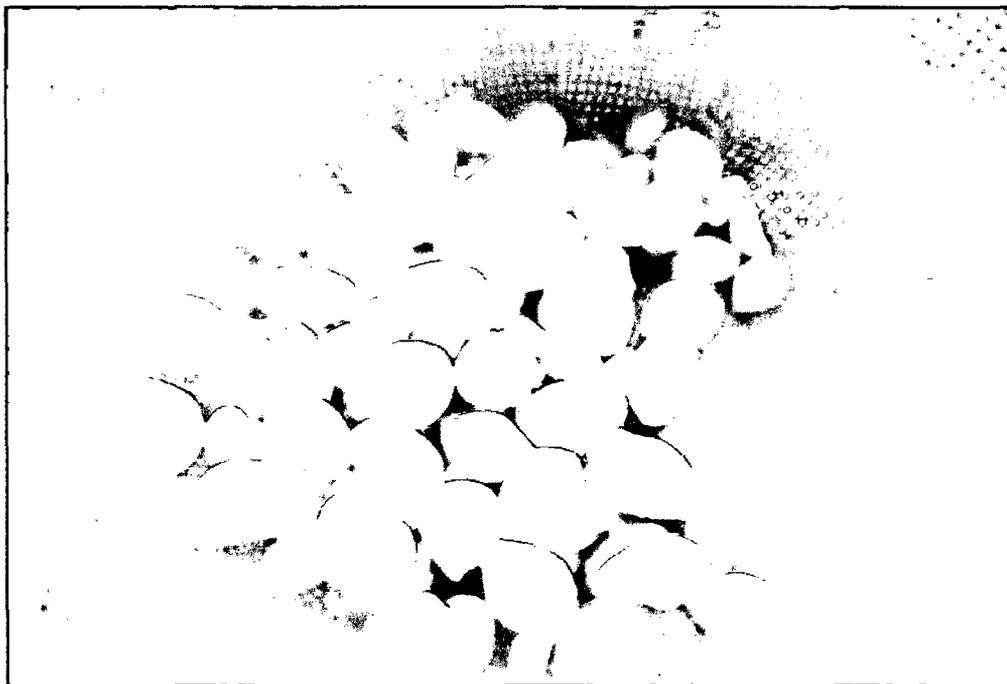
**Fotografía 3. Medición de la temperatura y velocidad del aire.**

## ANEXO 2

### Secuencia fotográfica del secado de rodajas de ajos



**Fotografía 4. Materia prima (ajos)**



**Fotografía 5. Ajos pelados.**



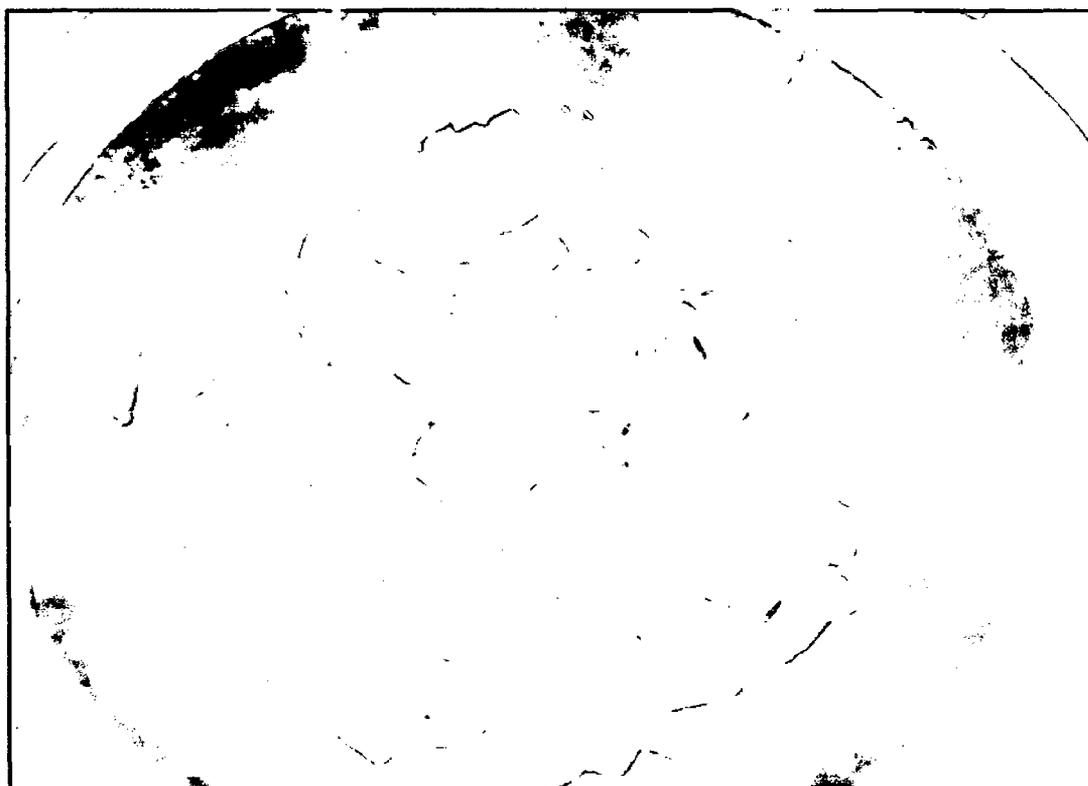
**Fotografía 6. Cortado del ajo en rodajas.**



**Fotografía 7. Rodajas de ajos.**



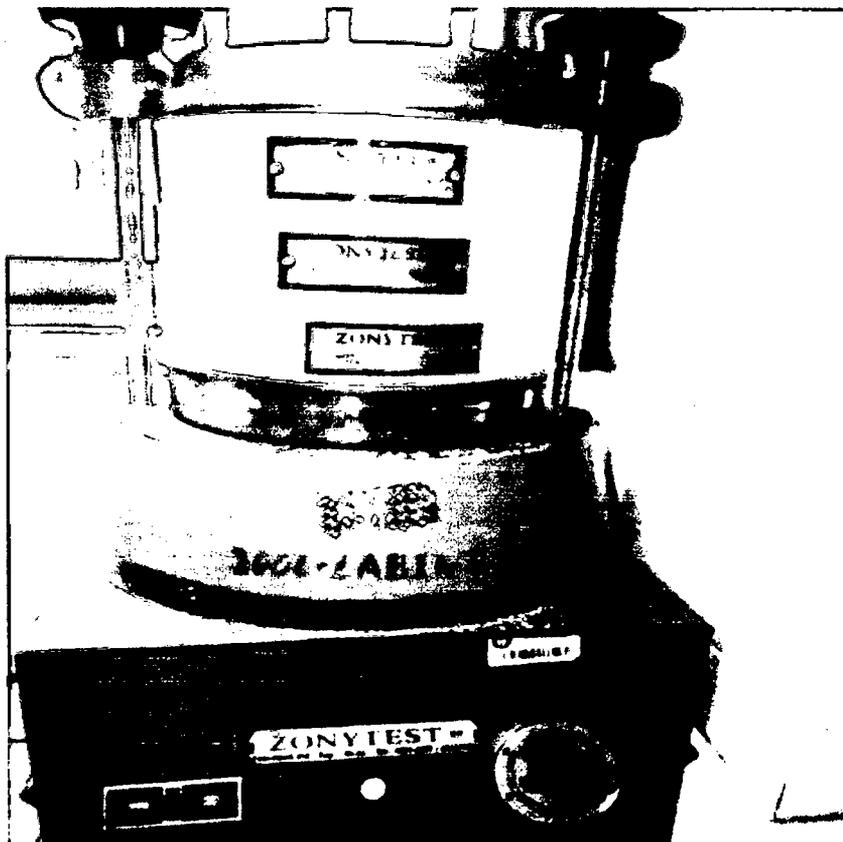
**Fotografía 8. Rodajas de ajos secándose en el secador de bandejas.**



**Fotografía 9. Muestra de ajo seco.**



Fotografía 10. Harina de ajo.



Fotografía 11. Tamizado de la harina de ajo.

### ANEXO 3

#### Resultados de las corridas experimentales de secado de rodajas de ajos realizados con aire a 40 °C y velocidades de 3; 3,5 y 4 m/s

Tabla 10. Datos experimentales de secado de rodajas de ajos, en el secador de bandejas con flujo de aire caliente a 40 °C y velocidad de 3 m/s (SB = 1539,5 g; S = 179,7 g)

N°	t Tiempo (min)	P1 Peso estructura + ajos al tiempo t (g)	P2 = P1-SB Peso ajos al tiempo t (g)	Yr = (P2-S)/S Humedad residual (g agua/g ajo seco)	dY/dt (g agua/g ss.min)	Ym (g agua/g ajo seco)
1	0	2039,50	500,00	1,78	0,015	1,707
2	10	2012,30	472,80	1,63	0,014	1,563
3	20	1987,90	448,40	1,50	0,013	1,432
4	30	1965,30	425,80	1,37	0,011	1,313
5	40	1945,00	405,50	1,26	0,014	1,187
6	50	1920,00	380,50	1,12	0,012	1,057
7	60	1898,40	358,90	1,00	0,013	0,933
8	70	1875,30	335,80	0,87	0,011	0,814
9	80	1855,80	316,30	0,76	0,012	0,701
10	90	1834,40	294,90	0,64	0,006	0,611
11	100	1823,50	284,00	0,58	0,005	0,556
12	110	1814,60	275,10	0,53	0,004	0,510
13	120	1807,10	267,60	0,49	0,004	0,471
14	130	1800,60	261,10	0,45	0,003	0,436
15	140	1794,50	255,00	0,42	0,003	0,405
16	150	1789,60	250,10	0,39	0,003	0,375
17	160	1783,70	244,20	0,36	0,002	0,347
18	170	1779,40	239,90	0,34	0,003	0,322
19	180	1774,60	235,10	0,31	0,002	0,299
20	190	1771,10	231,60	0,29	0,002	0,279
21	200	1767,70	228,20	0,27	0,002	0,262
22	210	1765,00	225,50	0,25	0,001	0,248
23	220	1762,50	223,00	0,24	0,001	0,235
24	230	1760,40	220,90	0,23	0,001	0,224
25	240	1758,40	218,90	0,22	0,001	0,212
26	250	1756,30	216,80	0,21	0,001	0,202
27	260	1754,70	215,20	0,20	0,000	0,195
28	270	1753,90	214,40	0,19	0,001	0,188

Nº	Tiempo (min)	Peso estructura + ajos al tiempo t (g)	Peso ajos al tiempo t (g)	Humedad residual (g agua/g ajo seco)	dY/dt (g agua/g ss.min)	Ym (g agua/g ajo seco)
29	280	1752,00	212,50	0,18	0,000	0,181
30	290	1751,50	212,00	0,18	0,001	0,175
31	300	1749,90	210,40	0,17	0,000	0,169
32	310	1749,30	209,80	0,17	0,001	0,164
33	320	1748,20	208,70	0,16	0,001	0,159
34	330	1747,20	207,70	0,16	0,000	0,155
35	340	1746,80	207,30	0,15	0,001	0,151
36	350	1745,80	206,30	0,15	0,001	0,145
37	360	1744,70	205,20	0,14	0,001	0,139
38	370	1743,80	204,30	0,14	0,001	0,134
39	380	1742,60	203,10	0,13	0,001	0,127
40	390	1741,50	202,00	0,12	0,001	0,119
41	400	1739,60	200,10	0,11	0,001	0,110
42	410	1738,50	199,00	0,11	0,003	0,094
43	420	1733,70	194,20	0,08	0,000	0,079
44	430	1733,00	193,50	0,08	0,000	0,075
45	440	1732,40	192,90	0,07	0,000	0,072
46	450	1731,80	192,30	0,07	0,000	0,068
47	460	1731,20	191,70	0,07	0,000	0,065
48	470	1730,60	191,10	0,06	0,000	0,062
49	480	1730,00	190,50	0,06	0,000	0,058
50	490	1729,40	189,90	0,06	0,000	0,055
51	500	1728,80	189,30	0,05	0,000	0,052
52	510	1728,20	188,70	0,05	0,000	0,048
53	520	1727,60	188,10	0,05	0,000	0,045
54	530	1726,90	187,40	0,04	0,000	0,041
55	540	1726,30	186,80	0,04	0,000	0,038
56	550	1725,70	186,20	0,04	0,000	0,035
57	560	1725,10	185,60	0,03	0,000	0,032
58	570	1724,70	185,20	0,03	0,000	0,029
59	580	1724,30	184,80	0,03	0,000	0,027
60	590	1723,90	184,40	0,03	0,001	0,023
61	600	1722,50	183,00	0,02	0,000	0,020
62	610	1722,50	183,00	0,02	0,002	0,010

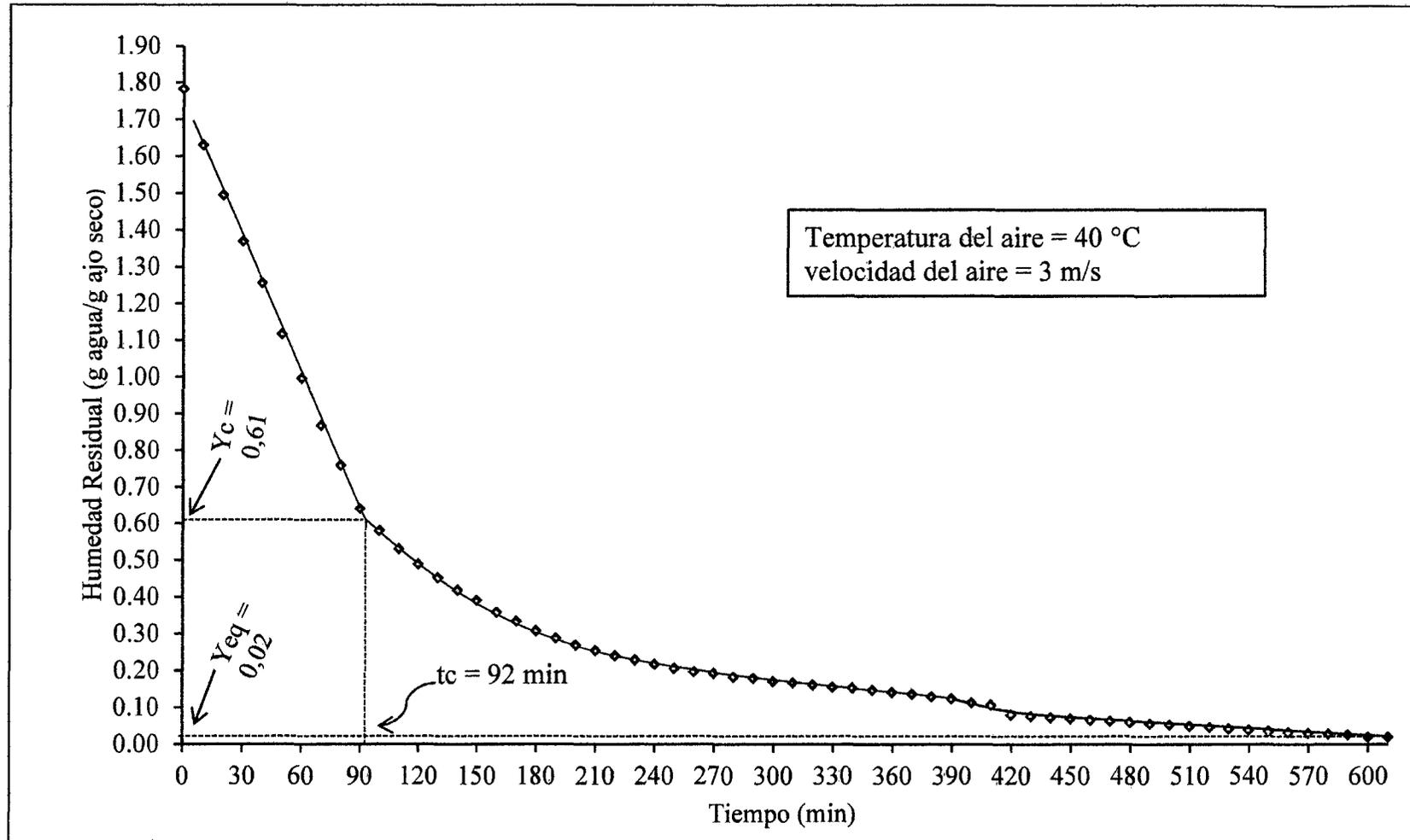


Figura 9. Humedad residual en función del tiempo ( $T_1 = 40\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $W_1 = 3\text{ m/s}$ )

**Análisis de regresión lineal con el SPSS (T1 = 40 °C; V1 = 3,0 m/s)**

Tabla 11. Resumen del modelo de regresión lineal (T1 = 40 °C; V1 = 3,0 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1,000	0,999	0,999	0,012

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 12. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	1,305	1	1,305	9708,286	0,000
Residual	0,001	8	0,000		
Total	1,306	9			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 13. Coeficientes de la ecuación lineal (T1 = 40 °C; V1 = 3,0 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-,013	,000	-1,000	-98,531	,000
(Constante)	1,759	,007		258,142	,000

La ecuación de la línea recta será de la forma:  $y = -0,013t + 1,579$

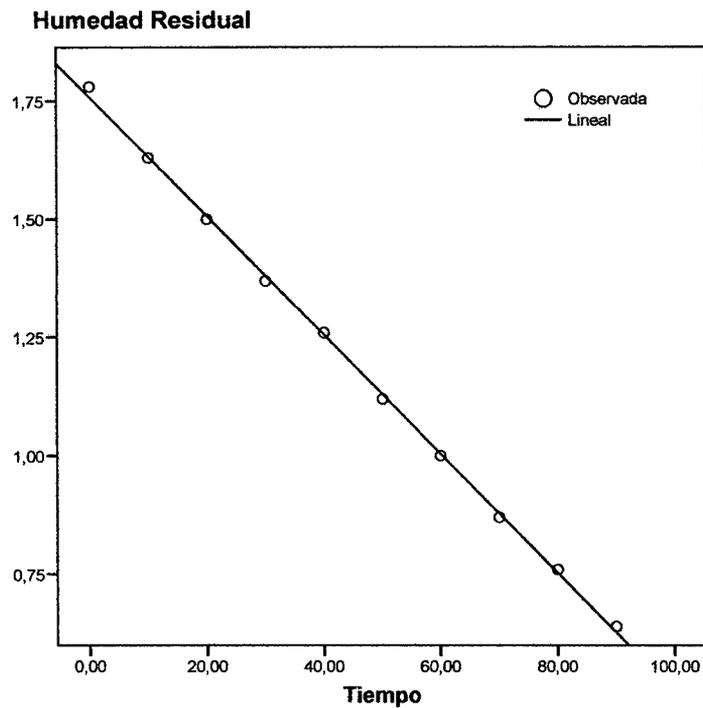


Figura 10. Representación de los datos experimentales (○) y de la línea recta (—) generada por el SPSS. (T1 = 40 °C; V1 = 3,0 m/s).

**Análisis de regresión exponencial con SPSS (T1 = 40 °C; V1 = 3,0 m/s)**

Tabla 14. Resumen del modelo de regresión exponencial (T1 = 40 °C; V1 = 3,0 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
,992	,983	,983	,121

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 15. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial (T1 = 40 °C; V1 = 3,0 m/s).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	44,147	1	44,147	3016,275	,000
Residual	,746	51	,015		
Total	44,894	52			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 16 Coeficientes de la ecuación exponencial (T1 = 40 °C; V1 = 3,0 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo (Constante)	-,006 1,007	,000 ,042	-,992	-54,921 24,099	,000 ,000

La variable dependiente es ln(Humedad Residual).

La ecuación de la curva exponencial será de la forma:  $y = 1,007e^{(-0,006t)}$

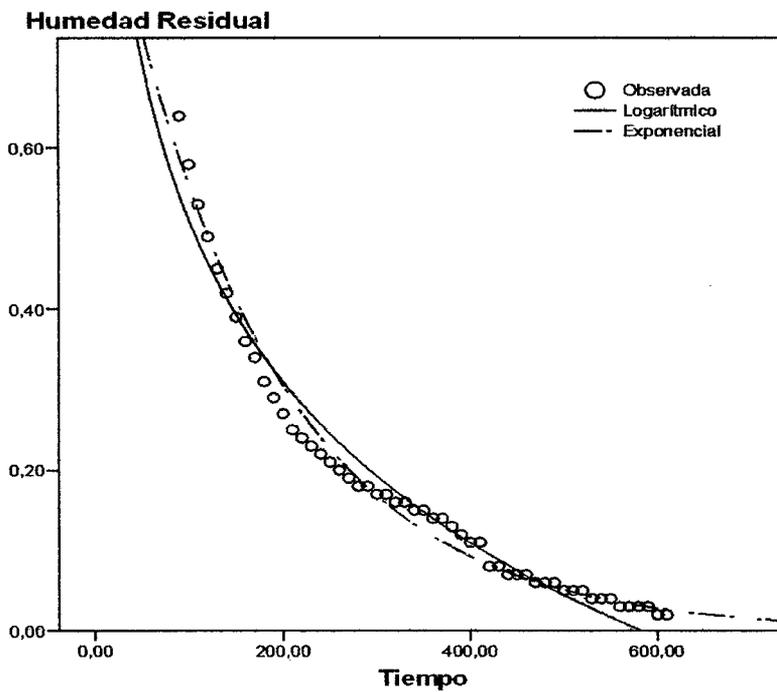


Figura 11. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T1 = 40 °C; V1 = 3,0 m/s).

Tabla 17. Datos experimentales de secado de rodajas de ajos, en el secador de bandejas con flujo de aire caliente a 40 °C y velocidad de 3,5 m/s (SB = 1539,5 g S = 179,3 g)

N°	t Tiempo (min)	P1	P2 = P1-SB	(P2-S)/S	dY/dt (g agua/g ss.min)	Ym (g agua/g ajo seco)
		Peso estructura + ajo al tiempo t (g)	Peso ajo al tiempo t (g)	Humedad residual (g agua/g ajo seco)		
1	0	2039,50	500,00	1,79	0,028	1,651
2	10	1990,00	450,50	1,51	0,013	1,450
3	20	1967,50	428,00	1,39	0,014	1,319
4	30	1943,00	403,50	1,25	0,015	1,178
5	40	1917,00	377,50	1,11	0,012	1,044
6	50	1895,00	355,50	0,98	0,014	0,913
7	60	1870,00	330,50	0,84	0,012	0,782
8	70	1848,00	308,50	0,72	0,011	0,666
9	80	1828,50	289,00	0,61	0,009	0,565
10	90	1811,80	272,30	0,52	0,006	0,491
11	100	1801,80	262,30	0,46	0,006	0,433
12	110	1791,10	251,60	0,40	0,004	0,385
13	120	1784,40	244,90	0,37	0,004	0,346
14	130	1777,40	237,90	0,33	0,005	0,300
15	140	1767,90	228,40	0,27	0,003	0,260
16	150	1763,10	223,60	0,25	0,002	0,238
17	160	1759,70	220,20	0,23	0,002	0,216
18	170	1755,40	215,90	0,20	0,002	0,195
19	180	1752,30	212,80	0,19	0,001	0,180
20	190	1750,00	210,50	0,17	0,001	0,167
21	200	1747,60	208,10	0,16	0,001	0,156
22	210	1745,90	206,40	0,15	0,001	0,146
23	220	1744,10	204,60	0,14	0,001	0,136
24	230	1742,40	202,90	0,13	0,001	0,129
25	240	1741,30	201,80	0,13	0,001	0,122
26	250	1740,20	200,70	0,12	0,001	0,116
27	260	1738,90	199,40	0,11	0,000	0,110
28	270	1738,10	198,60	0,11	0,001	0,105
29	280	1737,00	197,50	0,10	0,001	0,097
30	290	1735,50	196,00	0,09	0,000	0,092
31	300	1735,10	195,60	0,09	0,000	0,089
32	310	1734,40	194,90	0,09	0,000	0,085
33	320	1733,60	194,10	0,08	0,000	0,081
34	330	1733,00	193,50	0,08	0,000	0,078

N°	Tiempo (min)	Peso estructura + ajo al tiempo t (g)	Peso ajo al tiempo t (g)	Humedad residual (g agua/g ajo seco)	dY/dt (g agua/g ss.min)	Ym (g agua/g ajo seco)
36	350	1731,80	192,30	0,07	0,000	0,070
37	360	1731,00	191,50	0,07	0,000	0,066
38	370	1730,20	190,70	0,06	0,000	0,061
39	380	1729,40	189,90	0,06	0,000	0,057
40	390	1728,60	189,10	0,05	0,000	0,053
41	400	1728,00	188,50	0,05	0,000	0,050
42	410	1727,40	187,90	0,05	0,000	0,047
43	420	1726,90	187,40	0,05	0,000	0,044
44	430	1726,30	186,80	0,04	0,000	0,040
45	440	1725,80	186,30	0,04	0,000	0,038
46	450	1725,30	185,80	0,04	0,000	0,035
47	460	1724,90	185,40	0,03	0,000	0,033
48	470	1724,50	185,00	0,03	0,000	0,031
49	480	1724,10	184,60	0,03	0,000	0,029
50	490	1723,90	184,40	0,03	0,000	0,027
51	500	1723,50	184,00	0,03	0,000	0,026
52	510	1723,30	183,80	0,03	0,001	0,023
53	520	1722,30	182,80	0,02	0,000	0,020
54	530	1722,00	182,50	0,02	0,000	0,020
55	540	1722,20	182,70	0,02	0,002	0,010

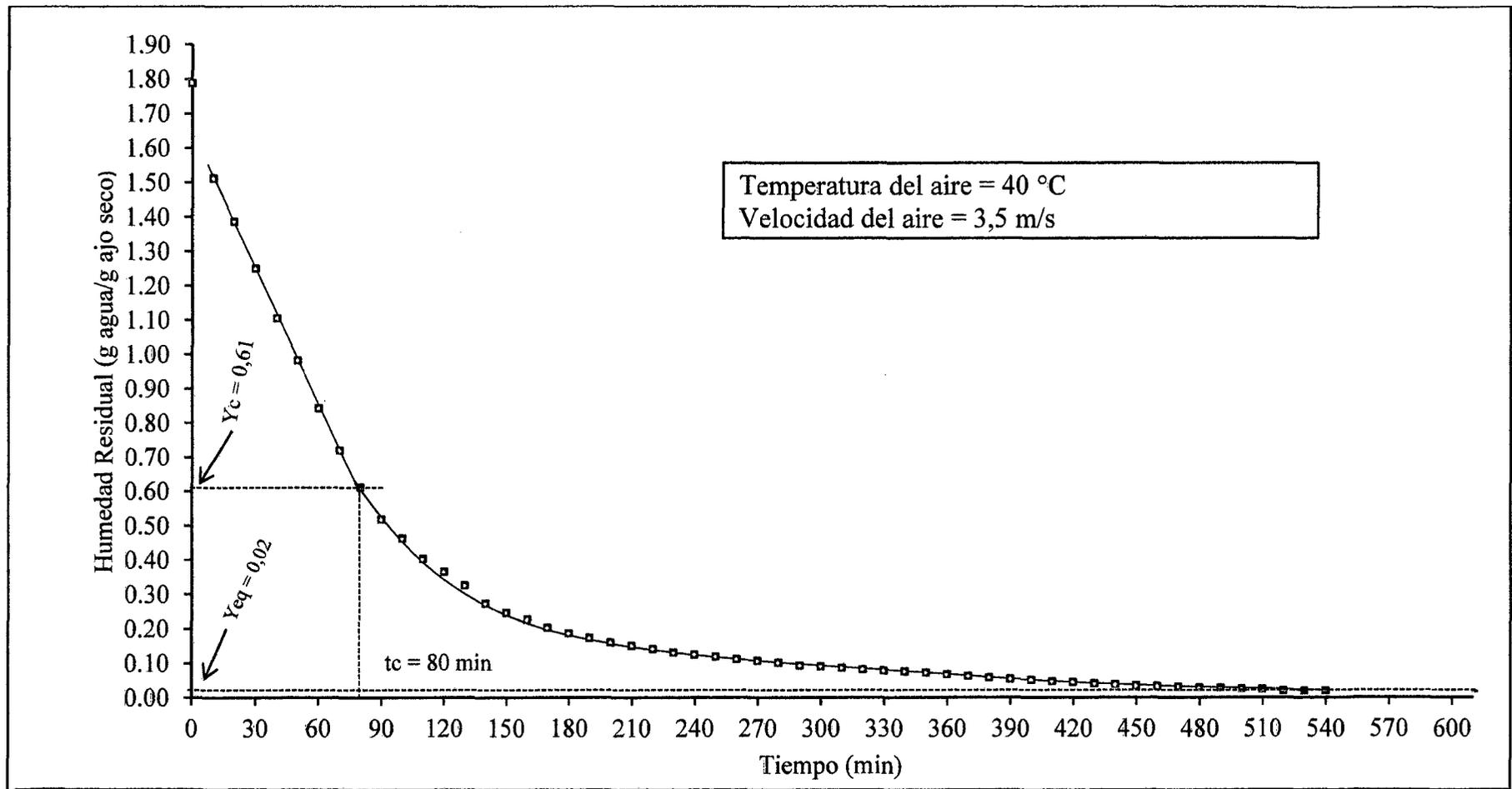


Figura 12. Humedad residual en función del tiempo (T1 = 40 °C; W1 = 3,5 m/s)

**Análisis de regresión lineal con SPSS (T1 = 40 °C; V2 = 3,5 m/s)**

Tabla 18. Resumen del modelo de regresión lineal (T1 = 40 °C; V2 = 3,5 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
,999	,999	,999	,011

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 19. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal

(T1 = 40 °C; V2 = 3,5 m/s).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	,722	1	,722	5856,043	,000
Residual	,001	6	,000		
Total	,722	7			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 20. Coeficientes de la ecuación lineal (T1 = 40 °C; V2 = 3,5 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-,013	,000	-,999	-76,525	,000
(Constante)	1,641	,009		189,737	,000

La ecuación de la línea recta será de la forma:  $y = -0,013t + 1,641$

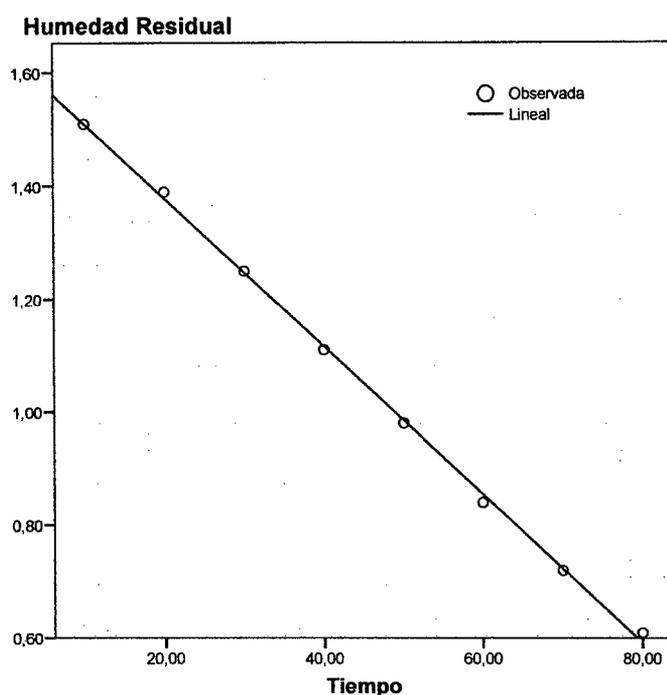


Figura 13. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T1 = 40 °C; V2 = 3,5 m/s).

**Análisis de regresión exponencial con SPSS (T1 = 40 °C; V2 = 3,5 m/s)**

Tabla 21. Resumen del modelo de regresión exponencial (T1 = 40 °C; V2 = 3,5 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
,990	,980	,980	,131

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 22. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial (T1 = 40 °C; V2 = 3,5 m/s).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	38,387	1	38,387	2251,166	,000
Residual	,767	45	,017		
Total	39,154	46			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 23. Coeficientes de la ecuación exponencial (T1 = 40 °C; V2 = 3,5 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo (Constante)	-,007	,000	-,990	-47,446	,000
	,714	,034		21,046	,000

La variable dependiente es ln(Humedad Residual).

La ecuación de la curva exponencial será de la forma:  $y = 0,714e^{(-0,007t)}$

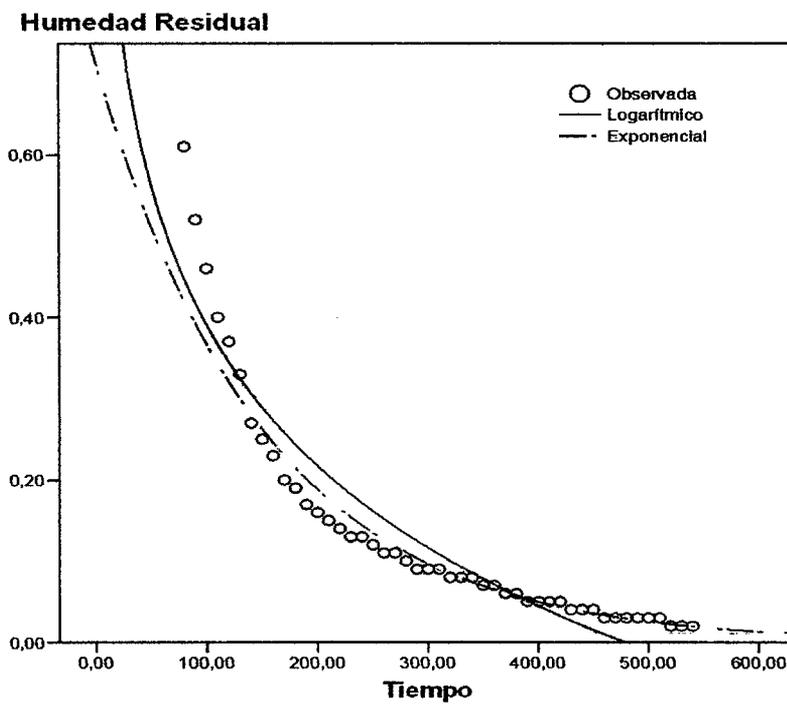


Figura 14. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T1 = 40 °C; V2 = 3,5 m/s).

Tabla 24. Datos experimentales de secado de rodajas de ajos, en el secador de bandejas con flujo de aire caliente a 40 °C y velocidad de 4 m/s (SB = 1539,5 g S = 179,6 g)

	<b>t</b>	<b>P1</b>	<b>P2 = P1-SB</b>	<b>(P2-S)/S</b>		
<b>Nº</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Peso estructura + ajo al tiempo t (g)</b>	<b>Peso ajo al tiempo t (g)</b>	<b>Humedad residual (g agua/g ajo seco)</b>	<b>dY/dt (g agua/g ss.min)</b>	<b>Ym (g agua/g ajo seco)</b>
1	0	2039,50	500,00	1,78	0,016	1,703
2	10	2010,50	471,00	1,62	0,024	1,503
3	20	1967,70	428,20	1,38	0,018	1,295
4	30	1935,50	396,00	1,20	0,024	1,087
5	40	1893,20	353,70	0,97	0,022	0,857
6	50	1853,00	313,50	0,75	0,013	0,680
7	60	1829,30	289,80	0,61	0,008	0,574
8	70	1815,00	275,50	0,53	0,007	0,498
9	80	1802,00	262,50	0,46	0,007	0,428
10	90	1790,00	250,50	0,39	0,006	0,364
11	100	1779,00	239,50	0,33	0,005	0,309
12	110	1770,20	230,70	0,28	0,005	0,262
13	120	1762,10	222,60	0,24	0,003	0,223
14	130	1756,30	216,80	0,21	0,002	0,198
15	140	1753,00	213,50	0,19	0,001	0,182
16	150	1750,70	211,20	0,18	0,001	0,169
17	160	1748,10	208,60	0,16	0,001	0,157
18	170	1746,50	207,00	0,15	0,001	0,148
19	180	1745,00	205,50	0,14	0,001	0,140
20	190	1743,60	204,10	0,14	0,001	0,133
21	200	1742,20	202,70	0,13	0,001	0,125
22	210	1741,00	201,50	0,12	0,001	0,119
23	220	1739,80	200,30	0,12	0,001	0,112
24	230	1738,60	199,10	0,11	0,001	0,106
25	240	1737,60	198,10	0,10	0,001	0,100
26	250	1736,60	197,10	0,10	0,001	0,094
27	260	1735,50	196,00	0,09	0,000	0,089
28	270	1734,70	195,20	0,09	0,000	0,085
29	280	1733,90	194,40	0,08	0,000	0,080
30	290	1733,10	193,60	0,08	0,000	0,076
31	300	1732,30	192,80	0,07	0,000	0,071
32	310	1731,50	192,00	0,07	0,000	0,067
33	320	1730,70	191,20	0,06	0,000	0,062
34	330	1729,90	190,40	0,06	0,000	0,058
35	340	1729,10	189,60	0,06	0,000	0,054

Nº	Tiempo (min)	Peso estructura + ajo al tiempo t (g)	Peso ajo al tiempo t (g)	Humedad residual (g agua/g ajo seco)	dY/dt (g agua/g ss.min)	Ym (g agua/g ajo seco)
37	360	1727,90	188,40	0,05	0,000	0,047
38	370	1727,30	187,80	0,05	0,000	0,045
39	380	1726,90	187,40	0,04	0,000	0,042
40	390	1726,50	187,00	0,04	0,000	0,040
41	400	1726,10	186,60	0,04	0,000	0,038
42	410	1725,70	186,20	0,04	0,000	0,036
43	420	1725,30	185,80	0,03	0,000	0,033
44	430	1724,90	185,40	0,03	0,000	0,031
45	440	1724,50	185,00	0,03	0,000	0,030
46	450	1724,30	184,80	0,03	0,000	0,029
47	460	1724,20	184,70	0,03	0,001	0,024
48	470	1724,10	184,60	0,02	0,000	0,020
49	480	1724,10	184,60	0,02	0,000	0,020
50	490	1724,00	184,50	0,02	0,000	0,020
51	500	1723,90	184,40	0,02	0,002	0,010

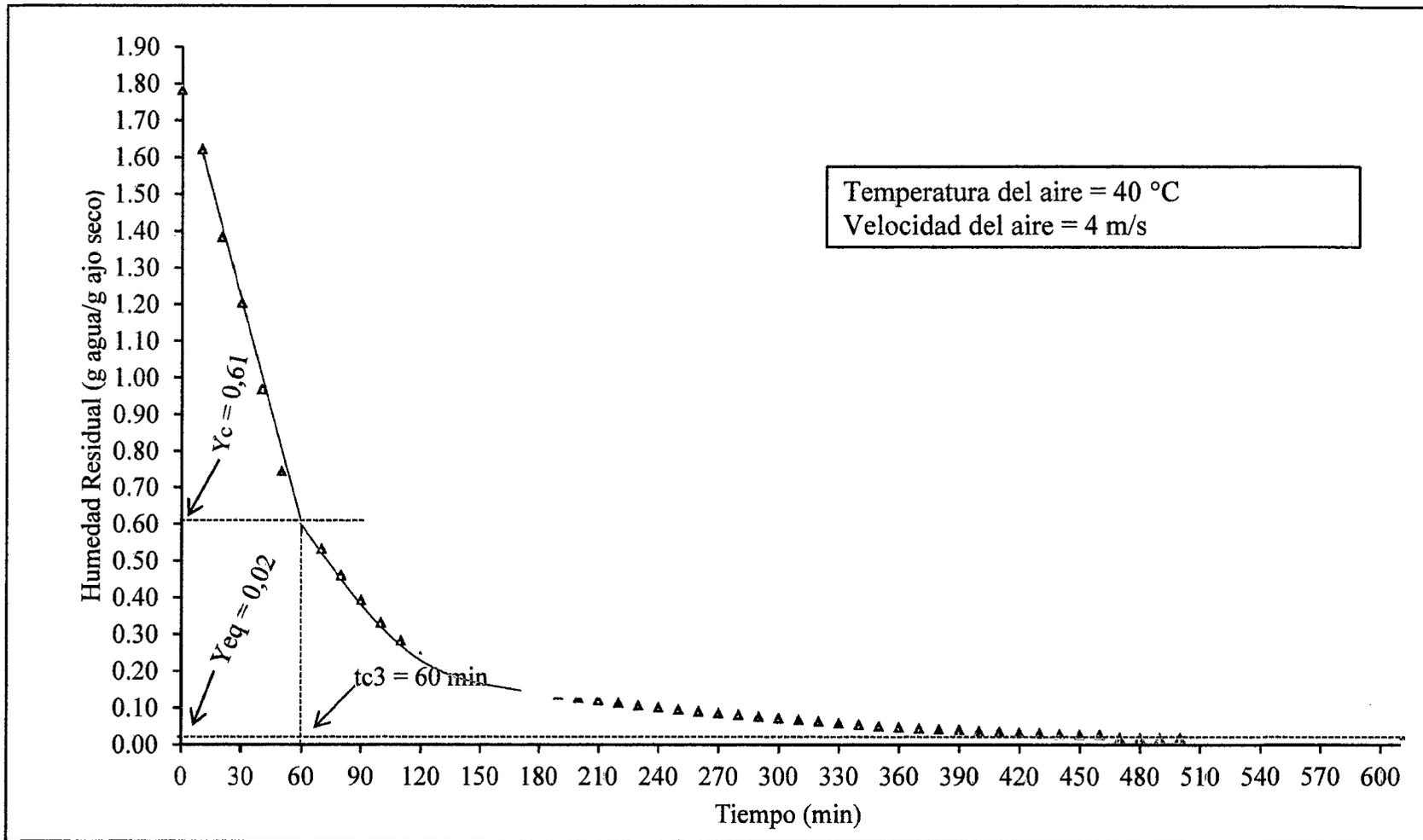


Figura 16. Humedad residual en función del tiempo ( $T_1 = 40\text{ °C}$ ;  $W_1 = 4\text{ m/s}$ )

**Análisis de regresión lineal con SPSS (T1 = 40 °C; V3 = 4,0 m/s)**

Tabla 25. Resumen del modelo de regresión lineal (T1 = 40 °C; V3 = 4,0 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
,999	,997	,996	,026

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 26. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal

(T1 = 40 °C; V3 = 4,0 m/s).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	1,144	1	1,144	1675,502	,000
Residual	,003	5	,001		
Total	1,148	6			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 27. Coeficientes de la ecuación lineal (T1 = 40 °C; V3 = 4,0 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-,020	,000	-,999	-40,933	,000
(Constante)	1,794	,018		100,731	,000

La ecuación de la línea recta será de la forma:  $y = -0,020t + 1,794$

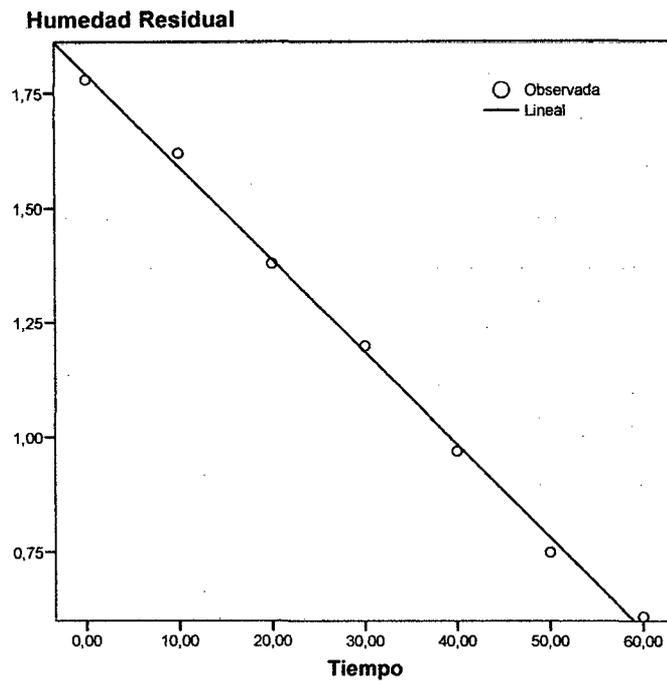


Figura 15. Representación de los datos experimentales (O) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T1 = 40 °C; V3 = 4,0 m/s).

**Análisis de regresión exponencial con SPSS (T1 = 40 °C; V3 = 4,0 m/s)**

Tabla 28. Resumen del modelo de regresión exponencial (T1 = 40 °C; V3 = 4,0 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
,988	,976	,975	,146

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 29. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial

(T1 = 40 °C; V3 = 4,0 m/s).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	36,983	1	36,983	1735,685	,000
Residual	,916	43	,021		
Total	37,899	44			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 30. Coeficientes de la ecuación exponencial (T1 = 40 °C; V3 = 4,0 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo (Constante)	-,007 ,599	,000 ,031	-,988	-41,662 19,337	,000 ,000

La variable dependiente es ln(Humedad Residual).

La ecuación de la curva exponencial será de la forma:  $y = 0,599e^{(-0,031t)}$

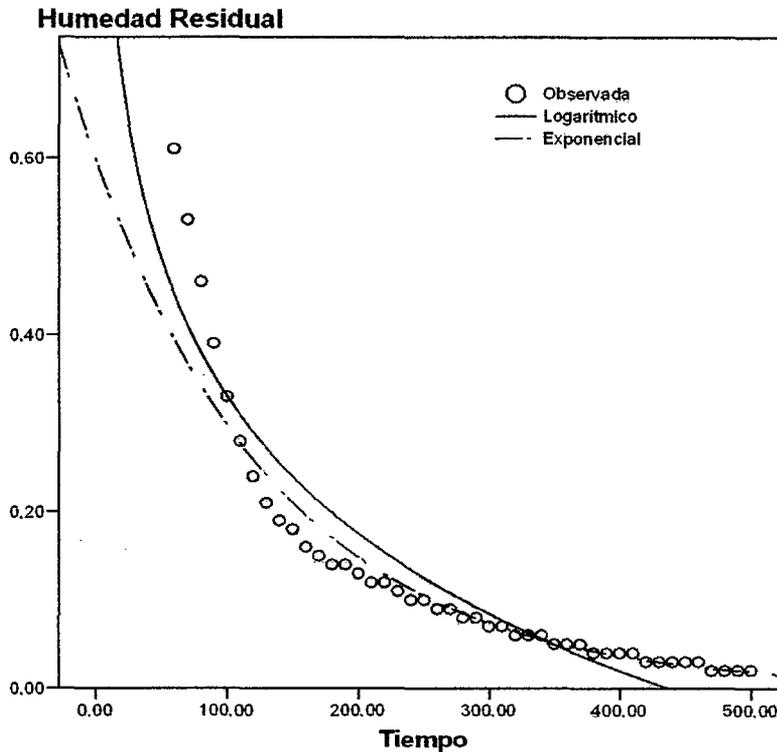


Figura 16. Representación de los datos experimentales (○), de la curva logarítmica (—) y de la curva exponencial (-.-) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T1 = 40 °C; V3 = 4,0 m/s).

## ANEXO 4

### Resultados de las corridas experimentales de secado de rodajas de ajos realizadas con aire a 50 °C y velocidades de 3, 3,5 y 4 m/s

Tabla 31. Datos experimentales de secado de rodajas de ajos, en el secador de bandejas con flujo de aire caliente a 50 °C y velocidad de 3 m/s (SB = 1539,5 g S = 179,4 g)

	<b>t</b>	<b>P1</b>	<b>P2 = P1-SB</b>	<b>Yr = (P2-S)/S</b>		
<b>Nº</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Peso estructura + ajo al tiempo t (g)</b>	<b>Peso ajo al tiempo t (g)</b>	<b>Humedad residual (g agua/g ajo seco)</b>	<b>dY/dt (g agua/g ss.min)</b>	<b>Ym (g agua/g ajo seco)</b>
1	0	2039,50	500,00	1,79	0,025	1,664
2	10	1995,20	455,70	1,54	0,016	1,458
3	20	1965,80	426,30	1,38	0,012	1,315
4	30	1943,90	404,40	1,25	0,013	1,189
5	40	1920,40	380,90	1,12	0,012	1,064
6	50	1899,00	359,50	1,00	0,013	0,941
7	60	1876,50	337,00	0,88	0,012	0,817
8	70	1854,50	315,00	0,76	0,011	0,703
9	80	1835,40	295,90	0,65	0,008	0,607
10	90	1820,20	280,70	0,56	0,008	0,525
11	100	1806,10	266,60	0,49	0,005	0,459
12	110	1796,50	257,00	0,43	0,005	0,409
13	120	1787,90	248,40	0,38	0,003	0,367
14	130	1781,70	242,20	0,35	0,003	0,333
15	140	1775,70	236,20	0,32	0,003	0,302
16	150	1770,60	231,10	0,29	0,002	0,277
17	160	1766,50	227,00	0,27	0,002	0,255
18	170	1762,70	223,20	0,24	0,002	0,236
19	180	1759,90	220,40	0,23	0,002	0,221
20	190	1757,10	217,60	0,21	0,001	0,208
21	200	1755,30	215,80	0,20	0,001	0,198
22	210	1753,50	214,00	0,19	0,001	0,188
23	220	1751,70	212,20	0,18	0,001	0,178
24	230	1749,90	210,40	0,17	0,001	0,166
25	240	1747,30	207,80	0,16	0,001	0,154
26	250	1745,90	206,40	0,15	0,001	0,144
27	260	1743,50	204,00	0,14	0,001	0,132
28	270	1741,50	202,00	0,13	0,001	0,121
29	280	1739,80	200,30	0,12	0,001	0,114

Nº	Tiempo (min)	Peso estructura + ajo al tiempo t (g)	Peso ajo al tiempo t (g)	Humedad residual (g agua/g ajo seco)	dY/dt (g agua/g ss.min)	Ym (g agua/g ajo seco)
31	300	1737,60	198,10	0,10	0,001	0,101
32	310	1736,30	196,80	0,10	0,001	0,094
33	320	1735,30	195,80	0,09	0,001	0,089
34	330	1734,30	194,80	0,09	0,001	0,083
35	340	1733,40	193,90	0,08	0,000	0,079
36	350	1732,60	193,10	0,08	0,001	0,071
37	360	1730,80	191,30	0,07	0,001	0,063
38	370	1729,50	190,00	0,06	0,001	0,055
39	380	1728,20	188,70	0,05	0,000	0,050
40	390	1727,60	188,10	0,05	0,000	0,047
41	400	1727,00	187,50	0,05	0,000	0,043
42	410	1726,40	186,90	0,04	0,000	0,040
43	420	1725,80	186,30	0,04	0,000	0,037
44	430	1725,40	185,90	0,04	0,000	0,035
45	440	1725,00	185,50	0,03	0,000	0,033
46	450	1724,60	185,10	0,03	0,001	0,028
47	460	1723,20	183,70	0,02	0,000	0,023
48	470	1722,80	183,30	0,02	0,000	0,021
49	480	1722,40	182,90	0,02	0,000	0,020
50	490	1722,30	182,80	0,02	0,000	0,020
51	500	1722,60	183,10	0,02	0,002	0,010

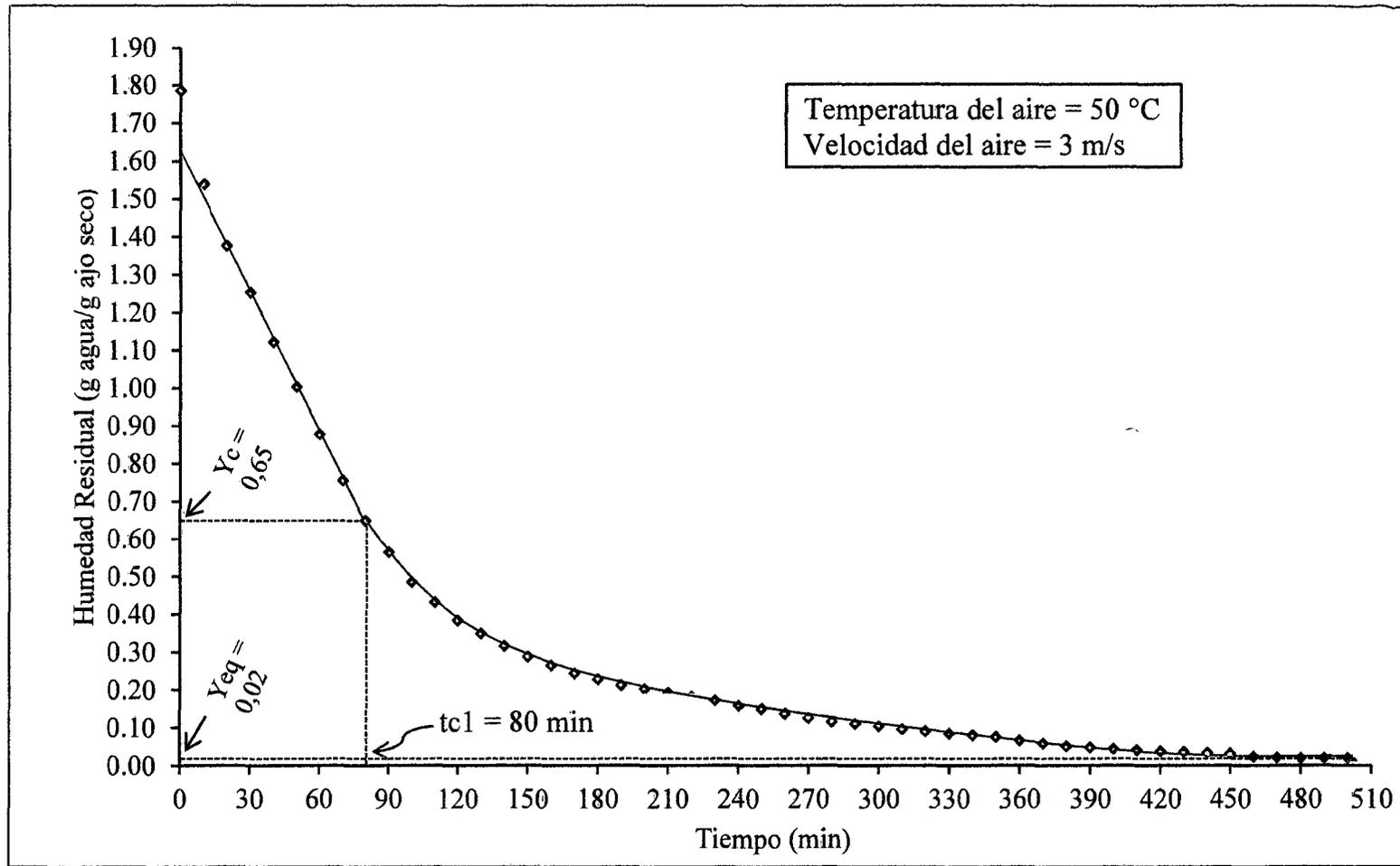


Figura 17. Humedad residual en función del tiempo ( $T_1 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $W_1 = 3\text{ m/s}$ )

**Aire a 50 °C y velocidades de 3,0, 3,5 y 4,0 m/s**

**Análisis de regresión lineal con SPSS (T2 = 50 °C; V1 = 3,0 m/s)**

Tabla 32. Resumen del modelo de regresión lineal (T2 = 50 °C; V1 = 3,0 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
,999	,998	,997	,016

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 33. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal (T2 = 50 °C; V1 = 3,0 m/s).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	,664	1	,664	2522,932	,000
Residual	,002	6	,000		
Total	,665	7			

La variable independiente es tiempo.

Tabla 34. Coeficientes de la ecuación lineal (T2 = 50 °C; V1 = 3,0 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-,013	,000	-,999	-50,229	,000
(Constante)	1,638	,013		129,619	,000

La ecuación de la línea recta será de la forma:  $y = -0,013t + 1,638$

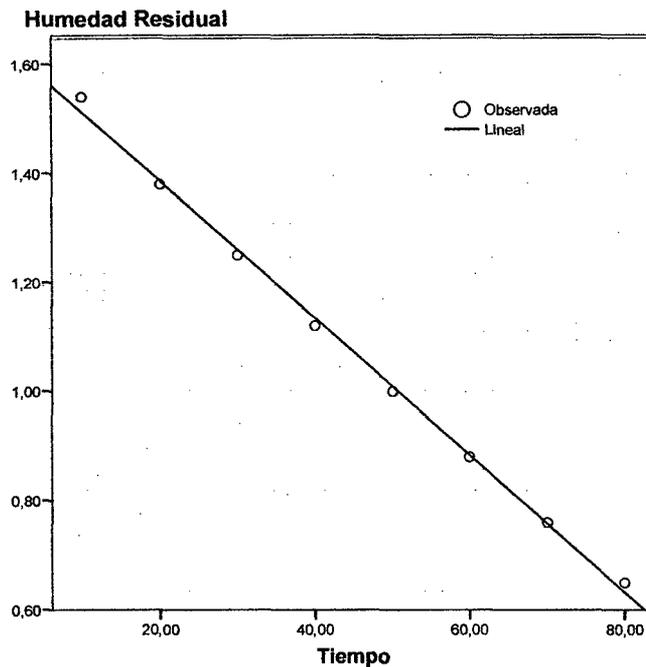


Figura 18. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T2 = 50 °C; V1 = 3,0 m/s).

**Análisis de regresión exponencial con SPSS (T2 = 50 °C; V1 = 3,0 m/s)**

Tabla 35. Resumen del modelo de regresión exponencial (T2 = 50 °C; V1 = 3,0 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
,994	,989	,988	,108

La variable independiente es Tiempo.

Table 36. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial (T2 = 50 °C; V1 = 3,0 m/s).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	41,812	1	41,812	3605,218	,000
Residual	,475	41	,012		
Total	42,287	42			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 37. Coeficientes de la ecuación exponencial (T2 = 50 °C; V1 = 3,0 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-,008	,000	-,994	-60,043	,000
(Constante)	1,057	,044		23,955	,000

La variable dependiente es ln(Humedad Residual).

La ecuación de la curva exponencial será de la forma:  $y = 1,057e^{(-0,008t)}$

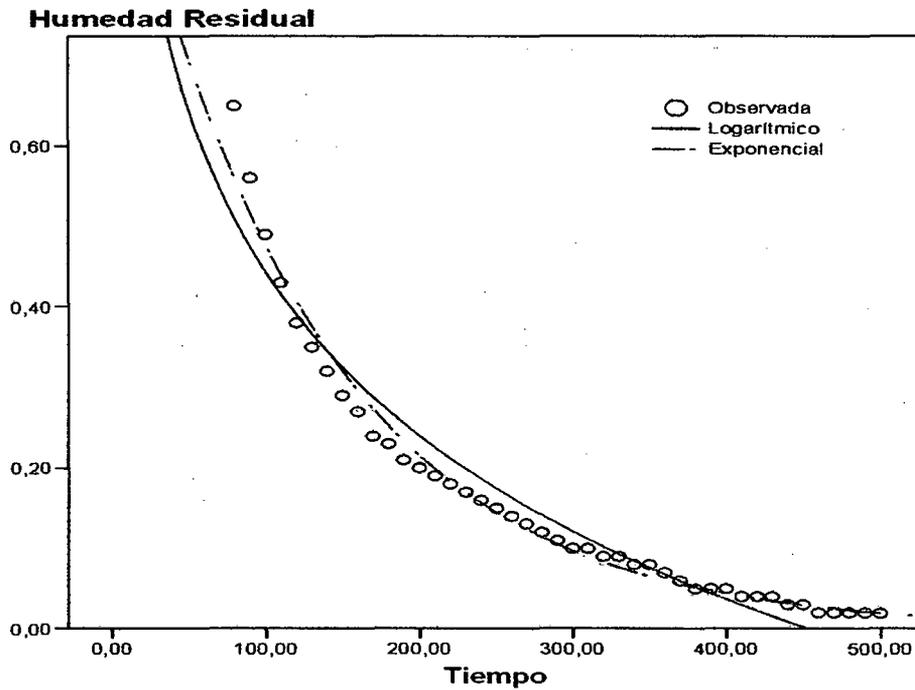


Figura 19. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T2 = 50 °C; V1 = 3,0 m/s).

Tabla 38. Datos experimentales de secado de rodajas de ajos, en el secador de bandejas con flujo de aire caliente a 50 °C y velocidad de 3,5 m/s (SB = 1539,5 g S = 179,8 g)

	t	P1	P2 = P1-SB	(P2-S)/S		
Nº	Tiempo (min)	Peso estructura + ajo al tiempo t (g)	Peso ajo al tiempo t (g)	Humedad residual (g agua/g ajo seco)	dY/dt (g agua/g ss.min)	Ym (g agua/g ajo seco)
1	0	2039,50	500,00	1,78	0,014	1,712
2	10	2014,60	475,10	1,64	0,022	1,534
3	20	1975,50	436,00	1,42	0,020	1,324
4	30	1939,20	399,70	1,22	0,019	1,127
5	40	1904,80	365,30	1,03	0,018	0,943
6	50	1872,90	333,40	0,85	0,021	0,750
7	60	1835,50	296,00	0,65	0,005	0,620
8	70	1826,10	286,60	0,59	0,010	0,545
9	80	1808,60	269,10	0,50	0,008	0,455
10	90	1793,60	254,10	0,41	0,006	0,381
11	100	1782,10	242,60	0,35	0,004	0,327
12	110	1774,20	234,70	0,31	0,002	0,294
13	120	1770,10	230,60	0,28	0,002	0,274
14	130	1767,00	227,50	0,27	0,002	0,256
15	140	1763,80	224,30	0,25	0,002	0,239
16	150	1760,60	221,10	0,23	0,002	0,221
17	160	1757,50	218,00	0,21	0,002	0,205
18	170	1754,70	215,20	0,20	0,001	0,190
19	180	1752,10	212,60	0,18	0,001	0,176
20	190	1749,70	210,20	0,17	0,001	0,164
21	200	1747,70	208,20	0,16	0,001	0,153
22	210	1745,90	206,40	0,15	0,001	0,143
23	220	1744,30	204,80	0,14	0,001	0,135
24	230	1742,80	203,30	0,13	0,001	0,127
25	240	1741,40	201,90	0,12	0,001	0,119
26	250	1740,00	200,50	0,12	0,001	0,111
27	260	1738,60	199,10	0,11	0,001	0,103
28	270	1737,20	197,70	0,10	0,001	0,096
29	280	1736,00	196,50	0,09	0,001	0,090
30	290	1734,80	195,30	0,09	0,001	0,084
31	300	1733,90	194,40	0,08	0,001	0,077
32	310	1732,50	193,00	0,07	0,001	0,070
33	320	1731,10	191,60	0,07	0,001	0,062
34	330	1729,90	190,40	0,06	0,001	0,056

N°	Tiempo (min)	Peso estructura + ajo al tiempo t (g)	Peso ajo al tiempo t (g)	Humedad residual (g agua/g ajo seco)	dY/dt (g agua/g ss.min)	Ym (g agua/g ajo seco)
35	340	1728,70	189,20	0,05	0,001	0,049
36	350	1727,60	188,10	0,05	0,001	0,044
37	360	1726,70	187,20	0,04	0,000	0,039
38	370	1725,90	186,40	0,04	0,000	0,034
39	380	1725,10	185,60	0,03	0,000	0,031
40	390	1724,50	185,00	0,03	0,000	0,027
41	400	1723,90	184,40	0,03	0,000	0,024
42	410	1723,30	183,80	0,02	0,000	0,021
43	420	1722,90	183,40	0,02	0,000	0,019
44	430	1722,60	183,10	0,02	0,000	0,018
45	440	1722,50	183,00	0,02	0,000	0,019
46	450	1722,30	182,80	0,02	0,000	0,020
47	460	1722,30	182,80	0,02	0,000	0,020
48	470	1722,40	182,90	0,02	0,002	0,010

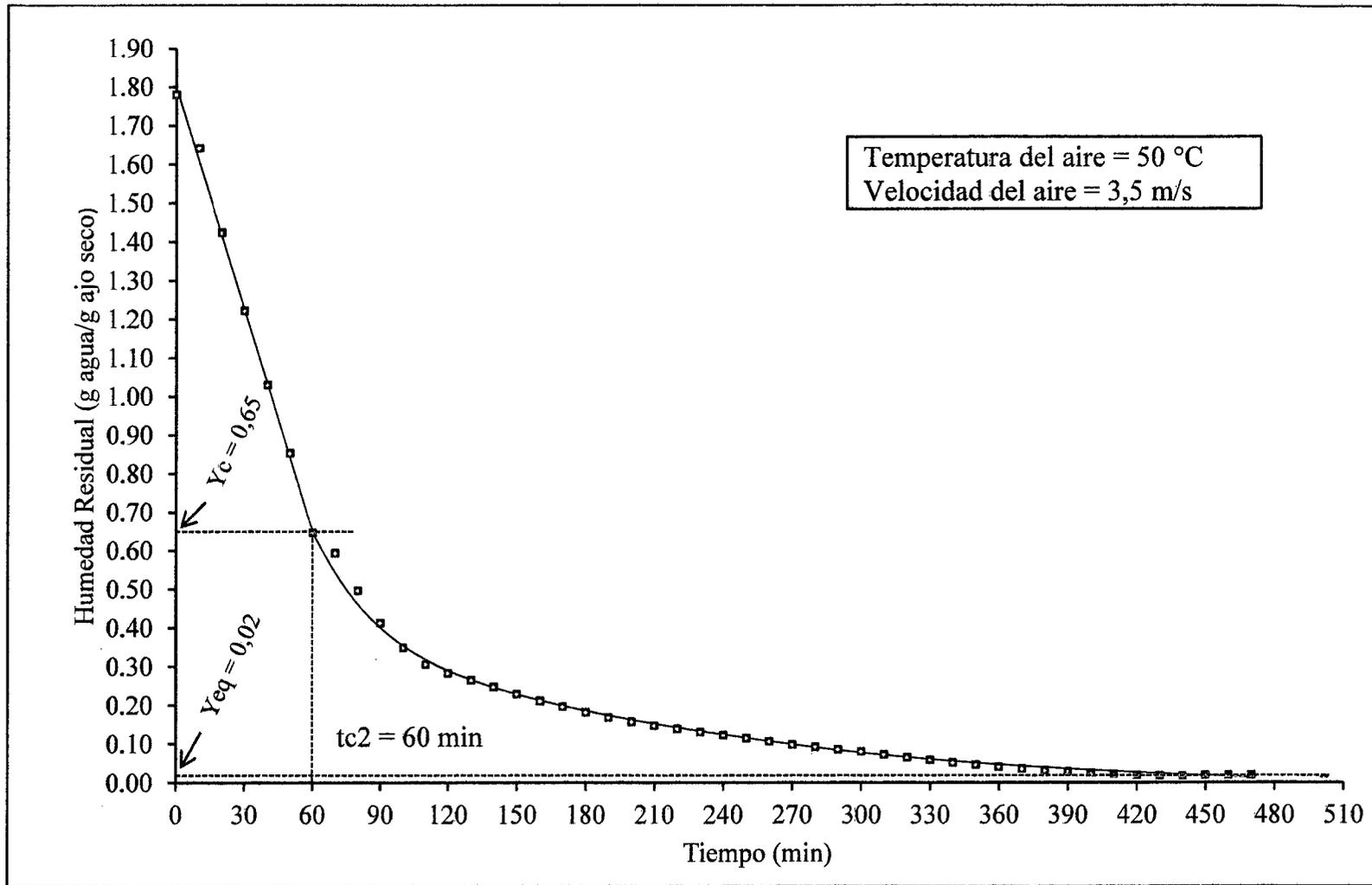


Figura 20. Humedad residual en función del tiempo ( $T_1 = 50\text{ °C}$ ;  $W_1 = 3,5\text{ m/s}$ )

**Análisis de regresión lineal con SPSS (T2 = 50 °C; V2 = 3,5 m/s)**

Tabla 39. Resumen del modelo de regresión lineal (T2 = 50 °C; V2 = 3,5 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
,999	,999	,998	,017

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 40. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal

(T2 = 50 °C; V2 = 3,5 m/s).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	1,026	1	1,026	3453,077	,000
Residual	,001	5	,000		
Total	1,028	6			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 41. Coeficientes de la ecuación lineal (T2 = 50 °C; V2 = 3,5 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-,019	,000	-,999	-58,763	,000
(Constante)	1,801	,012		153,370	,000

La ecuación de la línea recta será de la forma:  $y = -0,019t + 1,801$

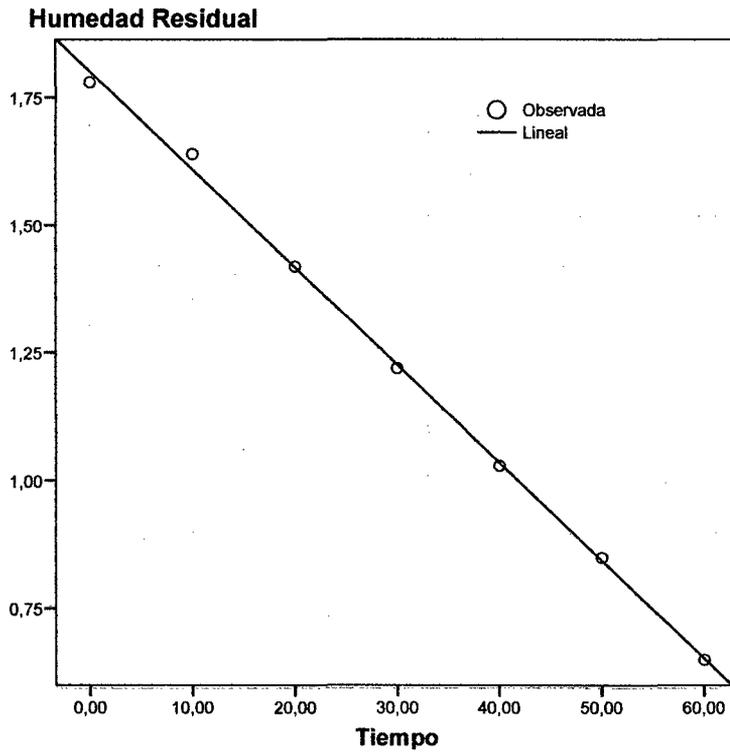


Figura 21. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T2 = 50 °C; V2 = 3,5 m/s).

**Análisis de regresión exponencial con SPSS (T2 = 50 °C; V2 = 3,5 m/s).**

Tabla 42. Resumen del modelo de regresión exponencial (T2 = 50 °C; V2 = 3,5 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
,994	,987	,987	,120

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 43. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial (T2 = 50 °C; V2 = 3,5 m/s).

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	44,955	1	44,955	3120,211	,000
Residual	,576	40	,014		
Total	45,532	41			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 44. Coeficientes de la ecuación exponencial (T2 = 50 °C; V2 = 3,5 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	T	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo (Constante)	-,009 ,906	,000 ,040	-,994	-55,859 22,458	,000 ,000

La variable dependiente es ln(Humedad Residual).

La ecuación de la curva exponencial será de la forma:  $y = 0,906e^{(-0,009t)}$

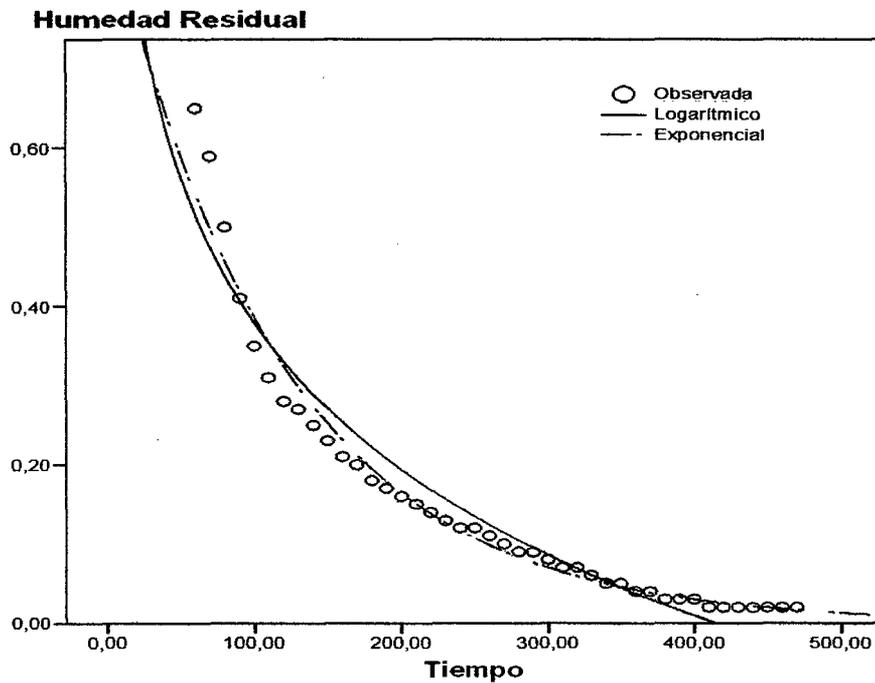


Figura 22. Representación de los datos experimentales (O), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T2 = 50 °C; V2 = 3,5 m/s).

Tabla 45. Datos experimentales de secado de rodajas de ajos, en el secador de bandejas con flujo de aire caliente a 50°C y velocidad de 3,5 m/s (SB = 1539,5 g S = 179,6 g)

N°	t	P1	P2 = P1-SB	(P2-S)/S	dY/dt (g agua/g ss.min)	Ym (g agua/g ajo seco)
	Tiempo (min)	Peso estructura + ajo al tiempo t (g)	Peso ajo al tiempo t (g)	Humedad residual (g agua/g ajo seco)		
1	0	2039,50	500,00	1,78	0,019	1,689
2	10	2005,50	466,00	1,59	0,026	1,465
3	20	1958,80	419,30	1,33	0,019	1,241
4	30	1925,00	385,50	1,15	0,022	1,036
5	40	1885,30	345,80	0,93	0,021	0,820
6	50	1847,30	307,80	0,71	0,015	0,636
7	60	1819,50	280,00	0,56	0,009	0,515
8	70	1803,80	264,30	0,47	0,008	0,434
9	80	1790,30	250,80	0,40	0,006	0,368
10	90	1780,00	240,50	0,34	0,003	0,324
11	100	1774,70	235,20	0,31	0,002	0,297
12	110	1770,30	230,80	0,29	0,003	0,273
13	120	1765,80	226,30	0,26	0,002	0,251
14	130	1762,40	222,90	0,24	0,001	0,234
15	140	1760,00	220,50	0,23	0,001	0,224
16	150	1758,50	219,00	0,22	0,001	0,213
17	160	1756,10	216,60	0,21	0,001	0,199
18	170	1753,70	214,20	0,19	0,001	0,187
19	180	1751,50	212,00	0,18	0,001	0,175
20	190	1749,50	210,00	0,17	0,001	0,163
21	200	1747,40	207,90	0,16	0,001	0,153
22	210	1745,60	206,10	0,15	0,001	0,143
23	220	1743,80	204,30	0,14	0,001	0,133
24	230	1742,00	202,50	0,13	0,001	0,123
25	240	1740,30	200,80	0,12	0,001	0,114
26	250	1738,90	199,40	0,11	0,001	0,106
27	260	1737,30	197,80	0,10	0,001	0,097
28	270	1735,70	196,20	0,09	0,001	0,089
29	280	1734,30	194,80	0,08	0,001	0,081
30	290	1733,00	193,50	0,08	0,001	0,074
31	300	1731,90	192,40	0,07	0,001	0,068
32	310	1730,70	191,20	0,06	0,001	0,061
33	320	1729,50	190,00	0,06	0,001	0,055
34	330	1728,40	188,90	0,05	0,001	0,049
35	340	1727,30	187,80	0,05	0,001	0,043
36	350	1726,40	186,90	0,04	0,000	0,039

N°	Tiempo (min)	Peso estructura + ajo al tiempo t (g)	Peso ajo al tiempo t (g)	Humedad residual (g agua/g ajo seco)	dY/dt (g agua/g ss.min)	Ym (g agua/g ajo seco)
37	360	1725,70	186,20	0,04	0,000	0,035
38	370	1724,90	185,40	0,03	0,000	0,031
39	380	1724,30	184,80	0,03	0,000	0,027
40	390	1723,70	184,20	0,03	0,000	0,024
41	400	1723,20	183,70	0,02	0,000	0,021
42	410	1722,70	183,20	0,02	0,000	0,020
43	420	1722,30	182,80	0,02	0,000	0,020
44	430	1721,80	182,30	0,02	0,000	0,020
45	440	1721,80	182,30	0,02	0,000	0,020
46	450	1722,00	182,50	0,02	0,002	0,010

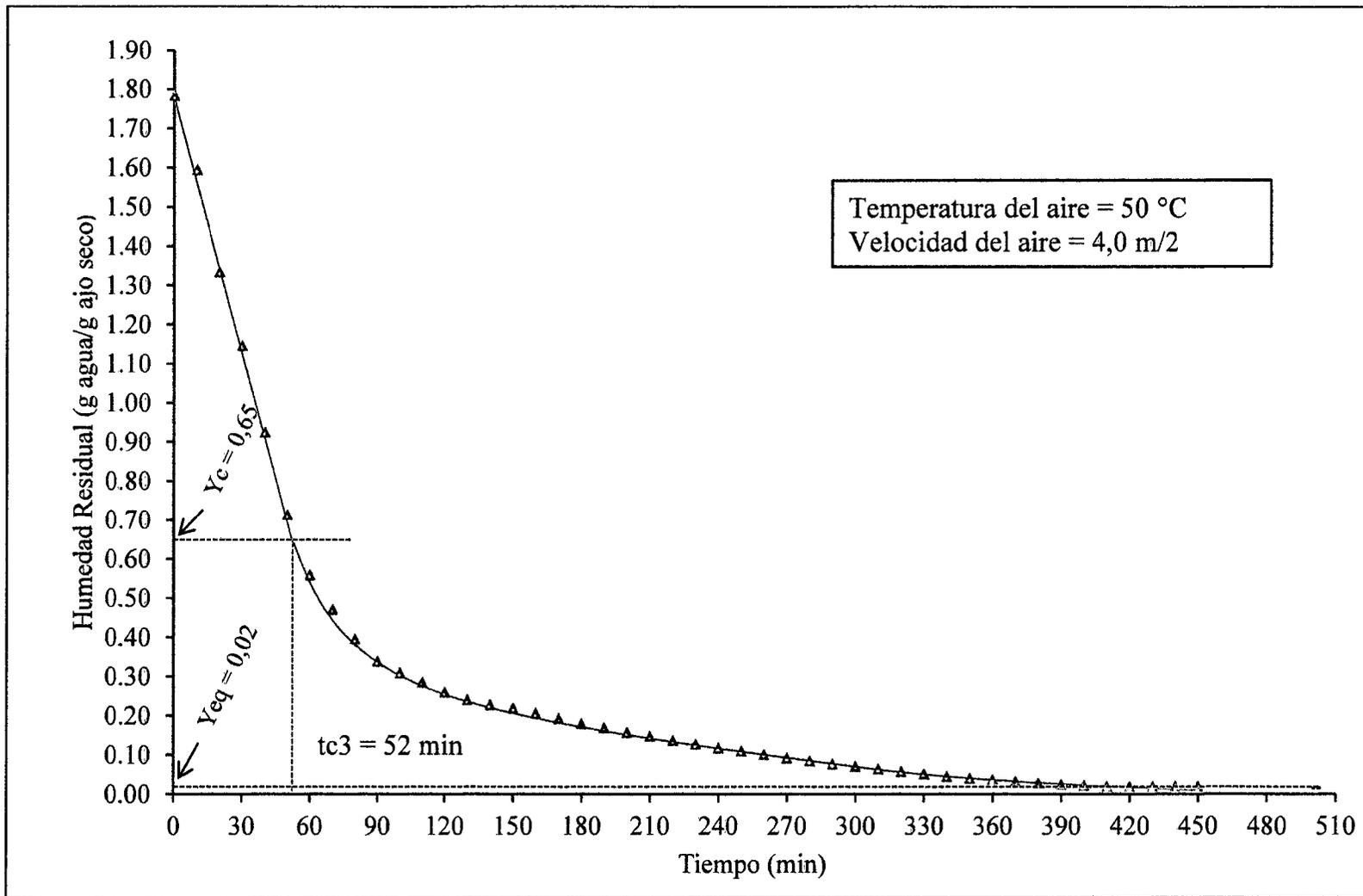


Figura 23. Humedad residual en función del tiempo ( $T_1 = 50\text{ °C}$ ;  $W = 4\text{ m/s}$ )

**Análisis de regresión lineal con SPSS (T2 = 50 °C; V3 = 4,0 m/s)**

Tabla 46. Resumen del modelo de regresión lineal (T2 = 50 °C; V3 = 4,0 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
,999	,999	,998	,017

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 47. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal

(T2 = 50 °C; V3 = 4,0 m/s).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	,806	1	,806	2760,201	,000
Residual	,001	4	,000		
Total	,807	5			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 48. Coeficientes de la ecuación lineal (T2 = 50 °C; V3 = 4,0m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-,021	,000	-,999	-52,538	,000
(Constante)	1,785	,012		144,335	,000

La ecuación de la línea recta será de la forma:  $y = -0,021t + 1,785$

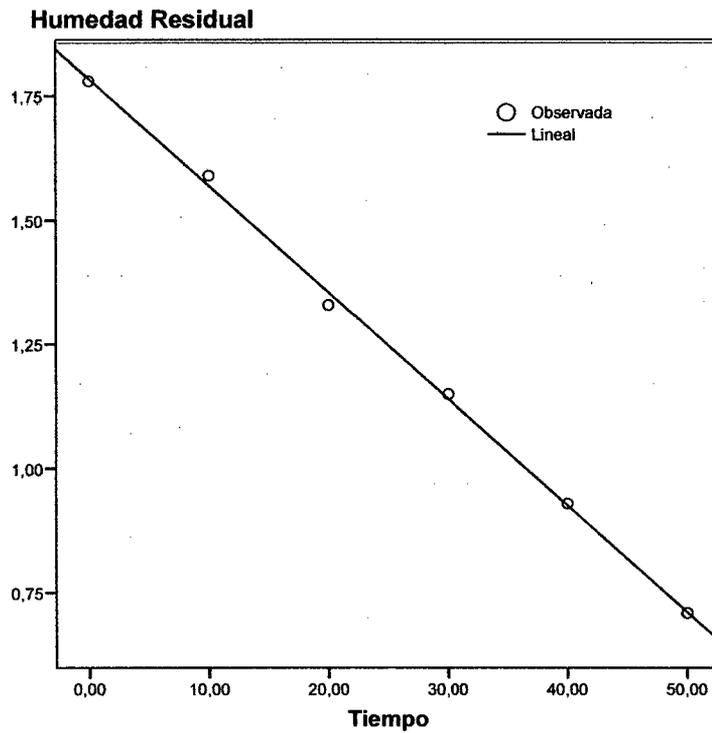


Figura 24. Representación de los datos experimentales (O) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T2 = 50 °C; V3 = 4,0 m/s).

**Análisis de regresión exponencial con SPSS (T2 = 50 °C; V3 = 4,0 m/s)**

Tabla 49. Resumen del modelo de regresión exponencial (T2 = 50 °C; V3 = 4,0 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
,994	,988	,988	,116

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 50. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial (T2 = 50 °C; V3 = 4,0 m/s).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	42,991	1	42,991	3221,324	,000
Residual	,520	39	,013		
Total	43,511	40			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 51. Coeficientes de la ecuación exponencial (T2 = 50 °C; V3 = 4,0 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo (Constante)	-,009 ,856	,000 ,036	-,994	-56,757 23,711	,000 ,000

La variable dependiente es ln(Humedad Residual).

La ecuación de la curva exponencial será de la forma:  $y = 0,856e^{(-0,009t)}$

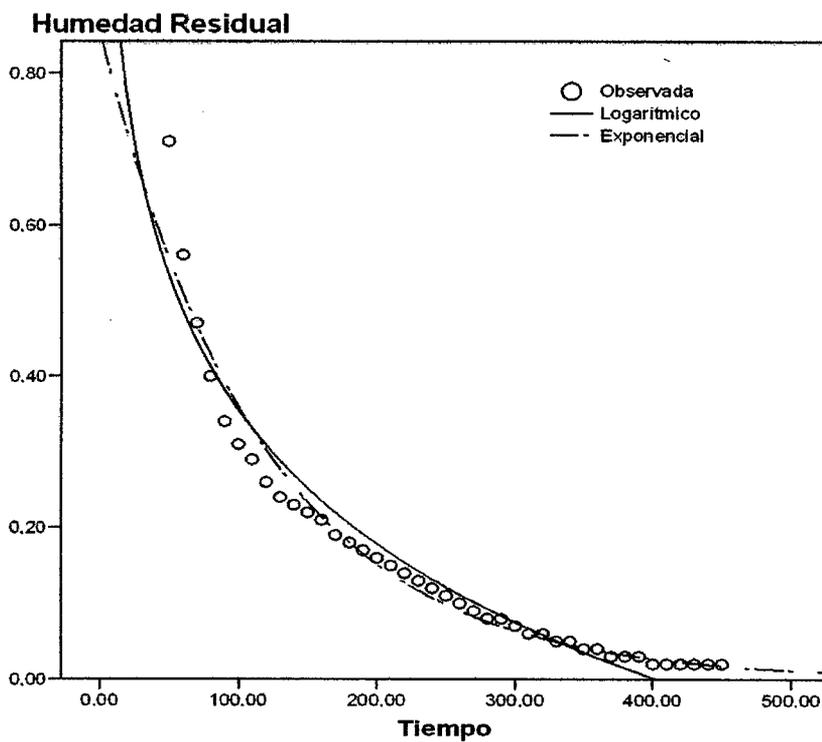


Figura 25. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T2 = 50 °C; V3 = 4,0 m/s).

## ANEXO 6

### Resultados de las corridas experimentales de secado de rodajas de ajos realizadas con aire a 60 °C y velocidades de 3; 3,5 y 4 m/s

Tabla 52. Datos experimentales de secado de rodajas de ajos, en el secador de bandejas con flujo de aire caliente a 60 °C y velocidad de 3,0 m/s (SB = 1539,5 g S = 179,5 g)

N°	T	P1	P2 = P1-SB	Y <sub>r</sub> = (P2-S)/S		
	Tiempo (min)	Peso estructura + ajo tiempo t (g)	Peso ajo al tiempo t (g)	Humedad residual (g agua/g ajo seco)	dY/dt (g agua/g ss.min)	Y <sub>m</sub> (g agua/g ajo seco)
1	0	2039,50	500,00	1,79	0,011	1,733
2	10	2020,60	481,10	1,68	0,025	1,555
3	20	1975,60	436,10	1,43	0,022	1,317
4	30	1935,30	395,80	1,21	0,020	1,106
5	40	1899,80	360,30	1,01	0,018	0,919
6	50	1868,00	328,50	0,83	0,016	0,749
7	60	1838,90	299,40	0,67	0,009	0,624
8	70	1823,00	283,50	0,58	0,007	0,543
9	80	1810,10	270,60	0,51	0,006	0,477
10	90	1799,00	259,50	0,45	0,005	0,422
11	100	1790,40	250,90	0,40	0,003	0,381
12	110	1784,20	244,70	0,36	0,003	0,349
13	120	1779,20	239,70	0,34	0,003	0,319
14	130	1773,40	233,90	0,30	0,002	0,293
15	140	1769,70	230,20	0,28	0,002	0,272
16	150	1766,10	226,60	0,26	0,001	0,255
17	160	1763,50	224,00	0,25	0,002	0,238
18	170	1760,10	220,60	0,23	0,002	0,220
19	180	1756,90	217,40	0,21	0,002	0,202
20	190	1753,70	214,20	0,19	0,001	0,190
21	200	1752,50	213,00	0,19	0,001	0,180
22	210	1750,00	210,50	0,17	0,002	0,162
23	220	1746,20	206,70	0,15	0,000	0,150
24	230	1745,50	206,00	0,15	0,001	0,141
25	240	1743,00	203,50	0,13	0,001	0,127
26	250	1740,50	201,00	0,12	0,002	0,111
27	260	1737,40	197,90	0,10	0,001	0,097
28	270	1735,60	196,10	0,09	0,001	0,088
29	280	1733,90	194,40	0,08	0,001	0,079

N°	Tiempo (min)	Peso estructura + ajo tiempo t (g)	Peso ajo al tiempo t (g)	Humedad residual (g agua/g ajo seco)	dY/dt (g agua/g ss.min)	Ym (g agua/g ajo seco)
30	290	1732,50	193,00	0,08	0,001	0,071
31	300	1731,10	191,60	0,07	0,001	0,064
32	310	1729,80	190,30	0,06	0,001	0,057
33	320	1728,60	189,10	0,05	0,001	0,051
34	330	1727,60	188,10	0,05	0,001	0,045
35	340	1726,70	187,20	0,04	0,000	0,041
36	350	1725,90	186,40	0,04	0,000	0,036
37	360	1725,20	185,70	0,03	0,000	0,033
38	370	1724,60	185,10	0,03	0,000	0,030
39	380	1724,00	184,50	0,03	0,000	0,027
40	390	1723,60	184,10	0,03	0,000	0,025
41	400	1723,40	183,90	0,02	0,000	0,024
42	410	1723,20	183,70	0,02	0,000	0,023
43	420	1722,90	183,40	0,02	0,000	0,021
44	430	1722,70	183,20	0,02	0,000	0,021
45	440	1722,90	183,40	0,02	0,002	0,011

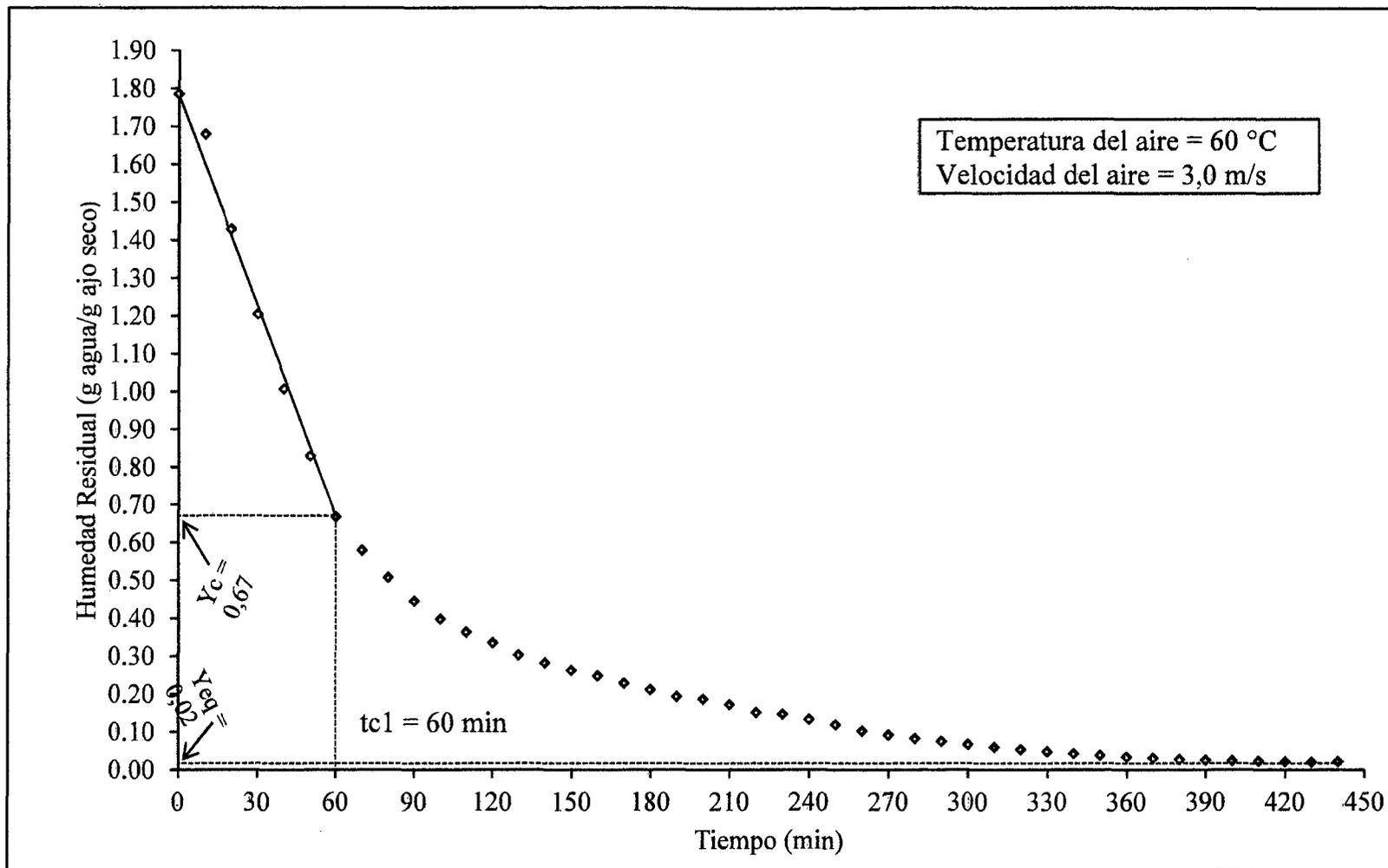


Figura 26. Humedad residual en función del tiempo (T1 = 60 °C; W1 = 3,0 m/s)

**Aire a 60 °C y velocidades de 3,0, 3,5 y 4,0 m/s**

**Análisis de regresión lineal con SPSS (T3 = 60 °C; V1 = 3,0 m/s)**

Tabla 53. Resumen del modelo de regresión lineal (T3 = 60 °C; V1 = 3,0 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
,997	,994	,993	,035

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 54. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal

(T3 = 60 °C; V1 = 3,0 m/s).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	1,073	1	1,073	898,038	,000
Residual	,006	5	,001		
Total	1,078	6			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 55. Coeficientes de la ecuación lineal (T3 = 60 °C; V1 = 3,0 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-,020	,001	-,997	-29,967	,000
(Constante)	1,819	,024		77,230	,000

La ecuación de la línea recta será de la forma:  $y = -0,020t + 1,819$

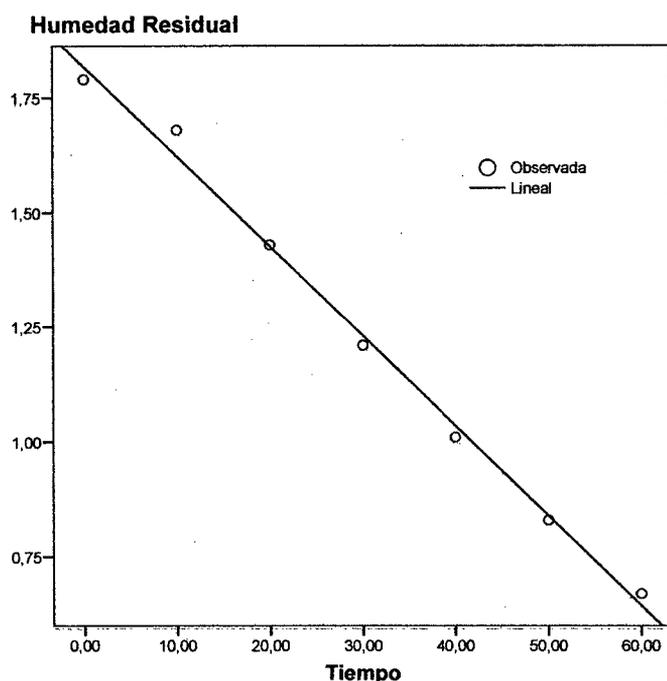


Figura 27. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T3 = 60 °C; V1 = 3,0 m/s).

**Análisis de regresión exponencial (T3 = 60 °C; V1 = 3,0 m/s).**

Tabla 56. Resumen del modelo de regresión exponencial (T3 = 60 °C; V1 = 3,0 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
,996	,993	,992	,095

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 57. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial (T3 = 60 °C; V1 = 3,0 m/s).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	44,955	1	44,955	4987,479	,000
Residual	,333	37	,009		
Total	45,288	38			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 58. Coeficientes de la ecuación exponencial (T3 = 60 °C; V1 = 3,0 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico		B	Error típico
Tiempo (Constante)	-,010	,000	-,996	-70,622	,000
	1,138	,042		27,003	,000

La variable dependiente es ln(Humedad Residual).

La ecuación de la curva exponencial será de la forma:  $y = 1,138e^{(-0,010t)}$

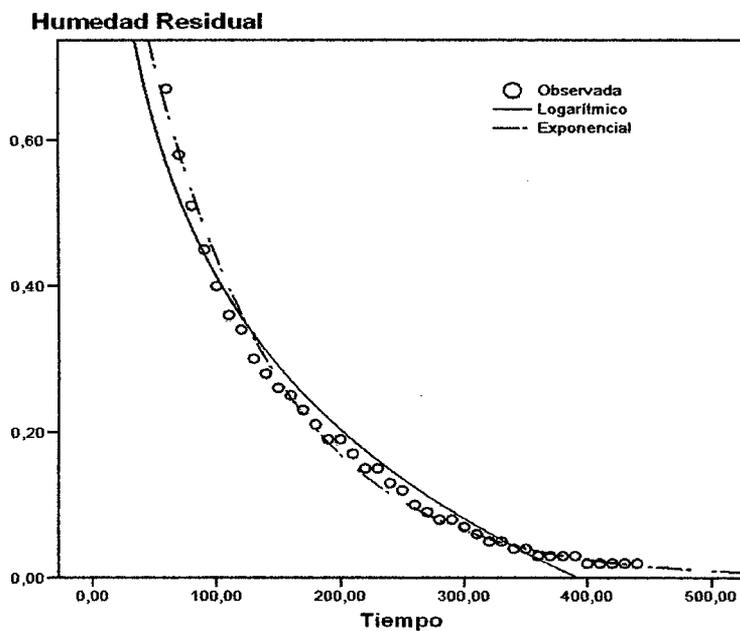


Figura 28. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T3 = 60 °C; V1 = 3,0 m/s).

Tabla 59. Datos experimentales de secado de rodajas de ajos, en el secador de bandejas con flujo de aire caliente a 60 °C y velocidad de 2,5 m/s (SB = 1539,5 g S = 179,3 g)

	<b>t</b>	<b>P1</b>	<b>P2 = P1-SB</b>	<b>(P2-S)/S</b>		
<b>Nº</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Peso estructura + ajo al tiempo t (g)</b>	<b>Peso ajo al tiempo t (g)</b>	<b>Humedad residual (g agua/g ajo seco)</b>	<b>dY/dt (g agua/g ss.min)</b>	<b>Ym (g agua/g ajo seco)</b>
1	0	2039,50	500,00	1,79	0,030	1,639
2	10	1985,80	446,30	1,49	0,031	1,335
3	20	1930,60	391,10	1,18	0,029	1,035
4	30	1878,00	338,50	0,89	0,020	0,788
5	40	1842,00	302,50	0,69	0,016	0,605
6	50	1812,50	273,00	0,52	0,012	0,465
7	60	1791,70	252,20	0,41	0,008	0,366
8	70	1777,10	237,60	0,33	0,006	0,296
9	80	1766,60	227,10	0,27	0,005	0,243
10	90	1758,20	218,70	0,22	0,003	0,204
11	100	1752,40	212,90	0,19	0,002	0,177
12	110	1748,80	209,30	0,17	0,001	0,161
13	120	1746,50	207,00	0,15	0,001	0,150
14	130	1745,00	205,50	0,15	0,001	0,143
15	140	1744,00	204,50	0,14	0,001	0,137
16	150	1742,80	203,30	0,13	0,001	0,130
17	160	1741,50	202,00	0,13	0,001	0,122
18	170	1740,00	200,50	0,12	0,000	0,117
19	180	1739,60	200,10	0,12	0,001	0,113
20	190	1738,70	199,20	0,11	0,000	0,109
21	200	1738,00	198,50	0,11	0,000	0,105
22	210	1737,20	197,70	0,10	0,000	0,101
23	220	1736,50	197,00	0,10	0,000	0,097
24	230	1735,80	196,30	0,09	0,000	0,093
25	240	1735,30	195,80	0,09	0,000	0,090
26	250	1734,70	195,20	0,09	0,001	0,086
27	260	1733,60	194,10	0,08	0,001	0,080
28	270	1732,70	193,20	0,08	0,001	0,074
29	280	1731,40	191,90	0,07	0,001	0,066
30	290	1730,00	190,50	0,06	0,001	0,059
31	300	1728,90	189,40	0,06	0,001	0,054
32	310	1727,90	188,40	0,05	0,001	0,048
33	320	1727,00	187,50	0,05	0,001	0,043
34	330	1726,10	186,60	0,04	0,000	0,038
35	340	1725,30	185,80	0,04	0,001	0,032

N°	Tiempo (min)	Peso estructura + ajo al tiempo t (g)	Peso ajo al tiempo t (g)	Humedad residual (g agua/g ajo seco)	dY/dt (g agua/g ss.min)	Ym (g agua/g ajo seco)
36	350	1723,60	184,10	0,03	0,000	0,025
37	360	1723,00	183,50	0,02	0,000	0,022
38	370	1722,50	183,00	0,02	0,000	0,020
39	380	1722,40	182,90	0,02	0,000	0,020
40	390	1722,30	182,80	0,02	0,000	0,019
41	400	1722,20	182,70	0,02	0,000	0,019
42	410	1722,20	182,70	0,02	0,002	0,009

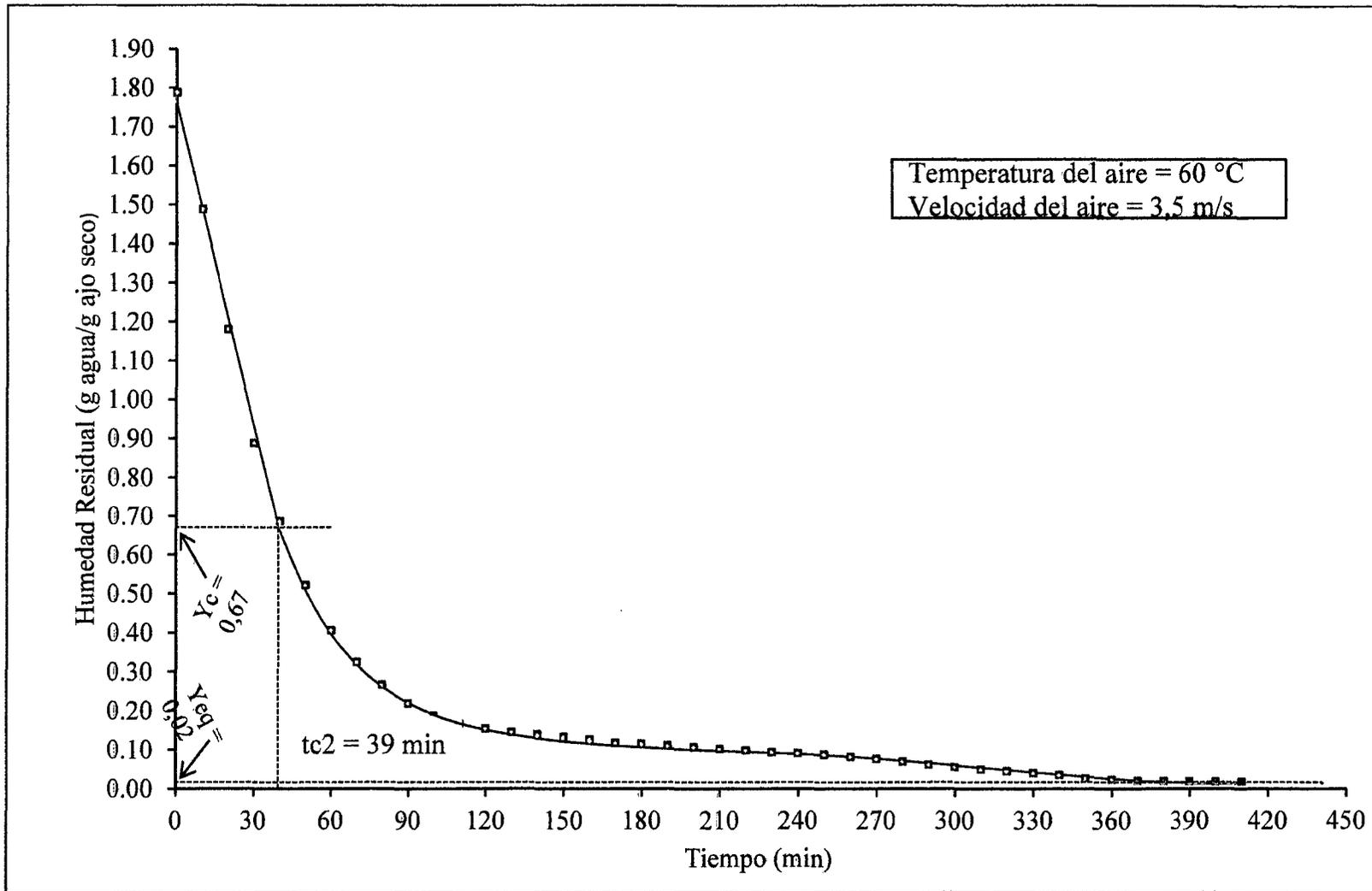


Figura 29. Humedad residual en función del tiempo (T1 = 60 °C; W1 = 3,5 m/s)

**Análisis de regresión lineal con SPSS (T3 = 60 °C; V2 = 3,5 m/s)**

Tabla 60. Resumen del modelo de regresión lineal (T3 = 60 °C; V2 = 3,5 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
,997	,994	,992	,039

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 61. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal (T3 = 60 °C; V2 = 3,5 m/s).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	,784	1	,784	525,000	,000
Residual	,004	3	,001		
Total	,788	4			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 62. Coeficientes de la ecuación lineal (T3 = 60 °C; V2 = 3,5 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-,028	,001	-,997	-22,913	,000
(Constante)	1,768	,030		59,065	,000

La ecuación de la línea recta será de la forma:  $y = -0,028t + 1,768$

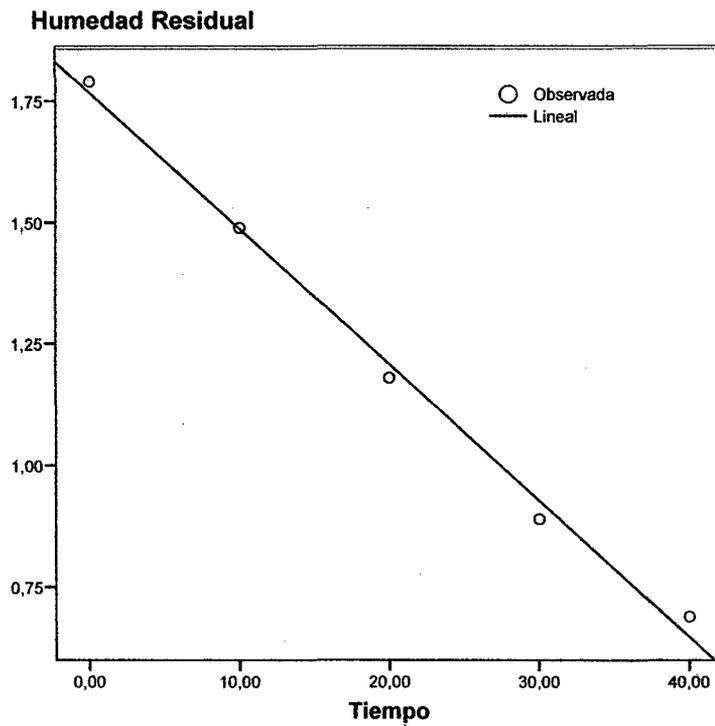


Figura 30. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T3 = 60 °C; V2 = 3,5 m/s).

**Análisis de regresión exponencial con SPSS (T3 = 60 °C; V2 = 3,5 m/s).**

Tabla 63. Resumen del modelo de regresión exponencial (T3 = 60 °C; V2 = 3,5 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
,974	,949	,948	,215

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 64. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial (T3 = 60 °C; V2 = 3,5 m/s).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	30,963	1	30,963	670,697	,000
Residual	1,662	36	,046		
Total	32,625	37			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 65. Coeficientes de la ecuación exponencial (T3 = 60 °C; V2 = 3,5 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo (Constante)	-,008	,000	-,974	-25,898	,000
	,561	,045		12,569	,000

La variable dependiente es ln(Humedad Residual).

La ecuación de la curva logarítmica será de la forma:  $y = 0,561e^{(-0,008t)}$

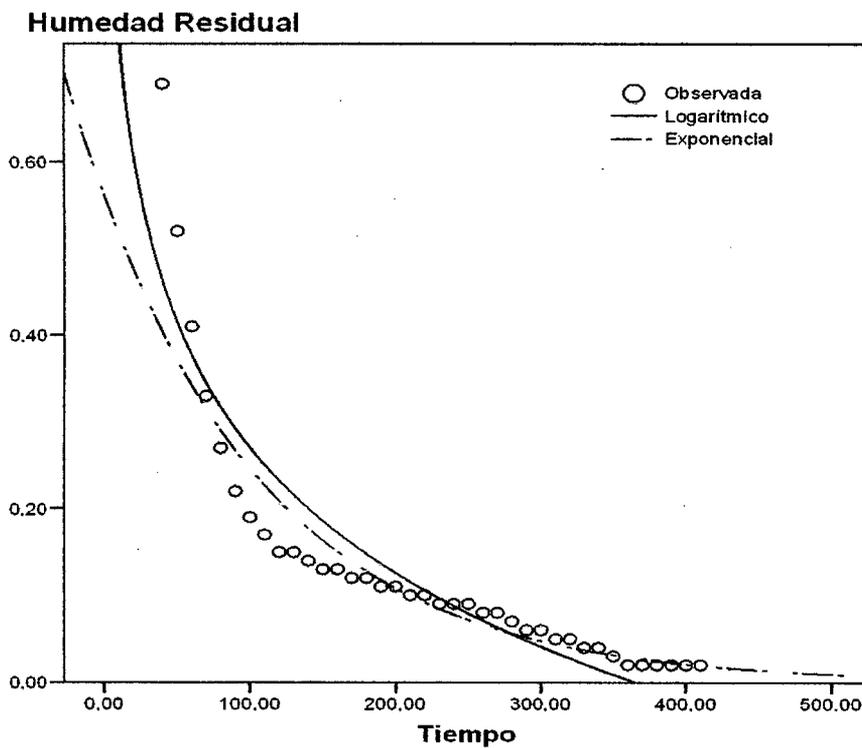


Figura 31. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T3 = 60 °C; V2 = 3,5 m/s).

Tabla 66. Datos experimentales de secado de rodajas de ajos, en el secador de bandejas con flujo de aire caliente a 60 °C y velocidad de 3,5 m/s (SB = 1539,5 g S = 179,9 g)

	t	P1	P2 = P1-SB	(P2-S)/S		
Nº	Tiempo (min)	Peso estructura + ajo al tiempo t (g)	Peso ajo al tiempo t (g)	Humedad residual (g agua/g ajo seco)	dY/dt (g agua/g ss.min)	Ym (g agua/g ajo seco)
1	0	2039,50	500,00	1,78	0,027	1,646
2	10	1991,60	452,10	1,51	0,035	1,339
3	20	1929,00	389,50	1,17	0,031	1,011
4	30	1873,60	334,10	0,86	0,024	0,738
5	40	1830,70	291,20	0,62	0,017	0,531
6	50	1799,30	259,80	0,44	0,012	0,382
7	60	1777,00	237,50	0,32	0,009	0,277
8	70	1761,50	222,00	0,23	0,005	0,210
9	80	1752,90	213,40	0,19	0,003	0,170
10	90	1747,10	207,60	0,15	0,003	0,141
11	100	1742,40	202,90	0,13	0,002	0,118
12	110	1739,00	199,50	0,11	0,001	0,102
13	120	1736,40	196,90	0,09	0,001	0,089
14	130	1734,30	194,80	0,08	0,001	0,078
15	140	1732,60	193,10	0,07	0,001	0,069
16	150	1731,20	191,70	0,07	0,001	0,063
17	160	1730,20	190,70	0,06	0,001	0,057
18	170	1729,10	189,60	0,05	0,000	0,053
19	180	1728,80	189,30	0,05	0,000	0,051
20	190	1728,30	188,80	0,05	0,000	0,048
21	200	1727,60	188,10	0,05	0,000	0,044
22	210	1727,10	187,60	0,04	0,000	0,041
23	220	1726,30	186,80	0,04	0,000	0,037
24	230	1725,80	186,30	0,04	0,000	0,034
25	240	1725,40	185,90	0,03	0,000	0,033
26	250	1725,30	185,80	0,03	0,000	0,031
27	260	1724,80	185,30	0,03	0,000	0,029
28	270	1724,60	185,10	0,03	0,000	0,029
29	280	1724,50	185,00	0,03	0,000	0,028
30	290	1724,50	185,00	0,03	0,001	0,025
31	300	1723,40	183,90	0,02	0,000	0,022
32	310	1723,40	183,90	0,02	0,000	0,022
33	320	1723,40	183,90	0,02	0,000	0,022
34	330	1723,30	183,80	0,02	0,000	0,022
35	340	1723,30	183,80	0,02	0,000	0,022
36	350	1723,30	183,80	0,02	0,000	0,021

Nº	Tiempo (min)	Peso estructura + ajo al tiempo t (g)	Peso ajo al tiempo t (g)	Humedad residual (g agua/g ajo seco)	dY/dt (g agua/g ss.min)	Ym (g agua/g ajo seco)
37	360	1723,20	183,70	0,02	0,000	0,021
38	370	1723,20	183,70	0,02	0,000	0,021
39	380	1723,20	183,70	0,02	0,002	0,011

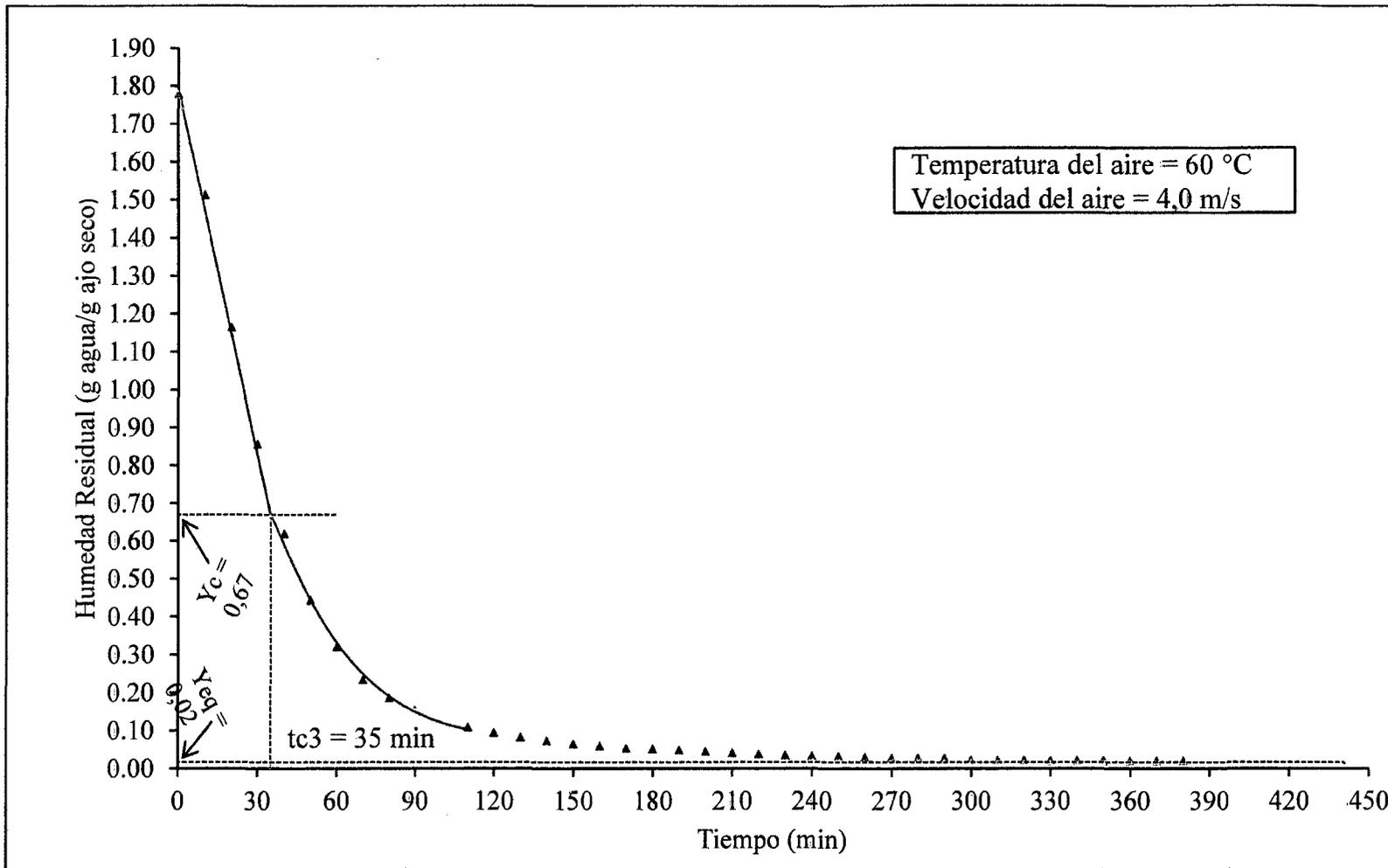


Figura 32. Humedad residual en función del tiempo (T1 = 60 °C; W = 4 m/s)

**Análisis de regresión lineal con SPSS (T3 = 60 °C; V3 = 4,0 m/s)**

Tabla 67. Resumen del modelo de regresión lineal (T3 = 60 °C; V3 = 4,0 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
,999	,997	,996	,029

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 68. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal

(T3 = 60 °C; V3 = 4,0 m/s).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	,882	1	,882	1021,726	,000
Residual	,003	3	,001		
Total	,885	4			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 69. Coeficientes de la ecuación lineal (T3 = 60 °C; V3 = 4,0 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-,030	,001	-,999	-31,964	,000
(Constante)	1,782	,023		78,297	,000

La ecuación de la línea recta será de la forma:  $y = -0,030t + 1,782$

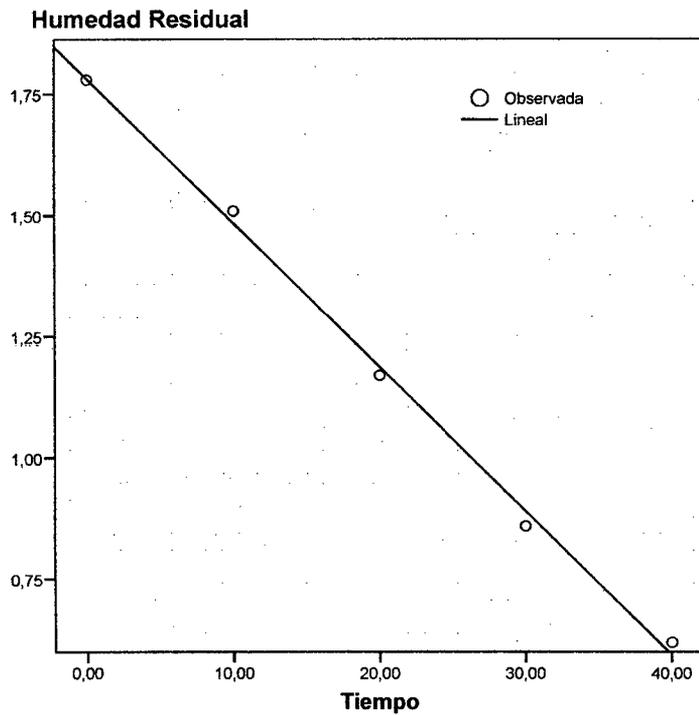


Figura 33. Representación de los datos experimentales (O) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. ( $T_3 = 60\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $V_3 = 4,0\text{ m/s}$ ).

**Análisis de regresión exponencial con SPSS ( $T_3 = 60\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $V_3 = 4,0\text{ m/s}$ ).**

Tabla 70. Resumen del modelo de regresión exponencial ( $T_1 = 60\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $V_3 = 4,0\text{ m/s}$ ).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
,941	,886	,883	,329

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 71. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial

( $T_3 = 60\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $V_3 = 4,0\text{ m/s}$ ).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	27,760	1	27,760	256,777	,000
Residual	3,568	33	,108		
Total	31,328	34			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 72. Coeficientes de la ecuación logarítmica (T3 = 60 °C; V3 = 4,0 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	T	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo (Constante)	-,009 ,339	,001 ,043	-,941	-16,024 7,798	,000 ,000

La variable dependiente es ln(Humedad Residual).

La ecuación de la curva exponencial será de la forma:  $y = 0,339 e^{(-0,009t)}$

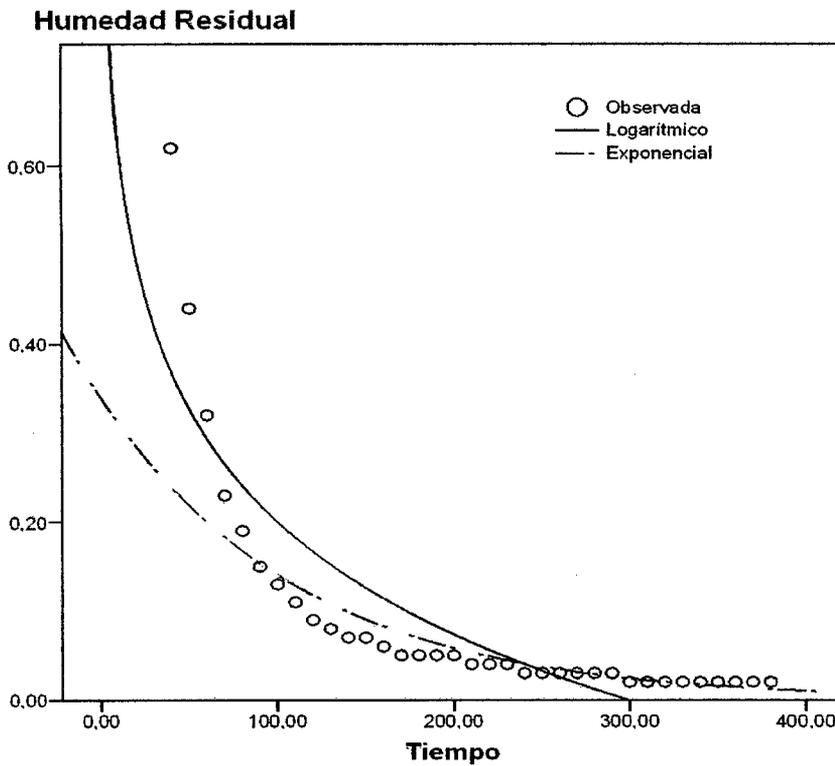


Figura 34. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T3 = 60 °C; V3 = 4,0 m/s).