

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN**  
**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS**  
**ALIMENTARIAS**



“Modelamiento matemático de la cinética de secado de la flor de plátano (*Musa paradisiaca*) para obtener harina, en Jaén - Cajamarca”

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO**  
**DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**Autores:** Bach. Medaly Yaqueline Martínez Torres  
Bach. Rosa Rojas Guevara

**Asesores:** Mg. Polito Michael Huayama Soplá  
Mg. Segundo Alipio Cruz Hoyos

**JAÉN, PERÚ, DICIEMBRE 2019**



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Ley de Creación N° 29304

Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2018-SUNEDU/CD

## ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 23 de diciembre del año 2019, siendo las ~~3:15 pm~~ **3:55 pm** horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente: Mg. Sc. James Tirado Lara

Secretario: Mg. Carlos Alberto Núñez Rivas.

Vocal: Dr. Santos Clemente Herrera Díaz, para evaluar la Sustentación del Informe Final:

( ) Trabajo de Investigación

(  ) Tesis

( ) Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado:

Modelamiento matemático de la cinética de secado de la flor de plátano (*Musa paradisiaca*) para obtener harina, en Jaén Cajamarca presentado por los Bachilleres Medaly Yaqueline Martínez Torres y Rosa Rojas Guevara de la Carrera Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

(  ) Aprobar      ( ) Desaprobar      (  ) Unanimidad      ( ) Mayoría

Con la siguiente mención:

- |                |            |               |
|----------------|------------|---------------|
| a) Excelente   | 18, 19, 20 | ( )           |
| b) Muy bueno   | 16, 17     | ( )           |
| c) Bueno       | 14, 15     | ( <b>15</b> ) |
| d) Regular     | 13         | ( )           |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | ( )           |

Siendo las ~~3:15 pm~~ **3:55 pm** horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

  
\_\_\_\_\_  
Presidente

  
\_\_\_\_\_  
Secretario

  
\_\_\_\_\_  
Vocal

## ÍNDICE

	<b>Pág.</b>
<b>RESUMEN</b> .....	12
<b>ABSTRACT</b> .....	13
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	14
<b>II. OBJETIVOS</b> .....	17
2.1 Objetivo general .....	17
2.2 Objetivos específicos.....	17
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	18
3.1 Materiales .....	18
3.1.1 Materia prima.....	18
3.1.2 Materiales de laboratorio.....	18
3.1.3 Otros materiales .....	18
3.1.4 Equipos.....	19
3.1.5 Reactivos.....	19
3.2 Metodología.....	20
3.2.1 Recepción de materia prima.....	21
3.2.2 Selección y pesado .....	21
3.2.3 Desprendimiento de las brácteas externas.....	21
3.2.4 Lavado.....	21
3.2.5 Picado.....	22
3.2.6 Sumergido en agua.....	22
3.2.7 Pre - cocción.....	22
3.2.8 Secado .....	22
3.2.9 Determinación de humedad.....	22
3.2.10 Molido.....	23
3.2.11 Tamizado.....	23
3.2.12 Envasado .....	23
3.2.13 Cinética de secado de flor de plátano.....	24
3.2.14 Modelamiento matemático de la cinética de secado de la flor de plátano .....	27
<b>IV. RESULTADOS</b> .....	28
4.1 Resultados de la cinética de secado de la flor de plátano .....	28

4.1.1 Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio.....	32
4.2 Modelos matemáticos de la cinética de secado de la flor de plátano .....	34
4.3 Análisis fisicoquímicos realizados a la flor de plátano fresca.....	35
4.4 Análisis organolépticos realizados a la harina de flor de plátano.....	35
<b>V. DISCUSIONES.....</b>	<b>37</b>
<b>VI. CONCLUSIONES .....</b>	<b>38</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>39</b>
<b>VIII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>40</b>
<b>IX. AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>42</b>
<b>X. DEDICATORIA.....</b>	<b>43</b>
<b>XI. ANEXOS.....</b>	<b>44</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Diseño de bloques completamente al azar .....	25
Tabla 2. Temperaturas y velocidades ensayadas.....	26
Tabla 3. Determinación de la humedad crítica, humedad de equilibrio, tiempo crítico y el tiempo de secado a T = 45 °C con diferentes velocidades de aire. ....	28
Tabla 4. Determinación de la humedad crítica, humedad de equilibrio, tiempo crítico y el tiempo de secado a T = 50 °C con diferentes velocidades de aire. ....	29
Tabla 5. Datos experimentales del secado de la flor picada con T=55°C y W=3,5m/s .....	30
Tabla 6. Determinación de la humedad crítica, humedad de equilibrio, tiempo crítico y el tiempo de secado a T = 55 °C con diferentes velocidades de aire. ....	31
Tabla 7. Ecuaciones correspondientes de la parte lineal y no lineal de las curvas de cada una de las figuras de la cinética de secado analizados con el software SPSS (Anexo 1,2,3) ..	34
Tabla 8. Análisis realizados a la flor de plátano.....	35
Tabla 9. Características organolépticas de las tres mejores muestras .....	35
Tabla 10. Determinación de cenizas de la muestra secada a T = 55 °C y W = 3,5m/s .....	36
Tabla 11. Análisis físicoquímicos de la harina de flor de plátano.....	36
Tabla 12. Datos experimentales del secado de la flor picada con T = 45 °C y W =1,5 m/s. ....	44
Tabla 13. Resumen del modelo de regresión lineal (T = 45 °C; W1 = 1,5 m/s) .....	45
Tabla 14. Análisis de varianza del modelo de regresión lineal (T = 45 °C; W1 = 1,5 m/s).....	45
Tabla 15. Coeficientes de la ecuación lineal (T = 45 °C; W1 = 1,5 m/s).....	46
Tabla 16. Resumen del modelo de regresión logarítmica (T = 45 °C; W1 = 1,5 m/s).....	47
Tabla 17. Análisis de varianza del modelo de regresión logarítmica (T=45°C; W1=1,5m/s) .....	47
Tabla 18. Coeficientes de la ecuación logarítmica (T = 45 °C; W1 = 1,5 m/s). ....	47
Tabla 19. Prueba t-Student para medias de dos muestras emparejadas .....	47
Tabla 20. Datos experimentales del secado de la flor picada con T = 45 °C y W = 2,5 m/s. ....	49
Tabla 21. Resumen del modelo de regresión lineal (T1 = 45 °C; W2 = 2,5 m/s) .....	50
Tabla 22. Análisis de varianza del modelo de regresión lineal (T1 = 45 °C; W2 = 2,5 m/s).....	50
Tabla 23. Coeficientes de la ecuación lineal (T1 = 45 °C; W2 = 2,5 m/s).....	51
Tabla 24. Resumen del modelo de regresión logarítmica (T1 = 45 °C; W2 = 2,5 m/s).....	52
Tabla 25. Análisis de varianza del modelo de regresión logarítmica (T1=45°C; W2=2,5 m/s). ..	52
Tabla 26. Coeficientes de la ecuación logarítmica (T1 = 45 °C; W2 = 2,5 m/s). ....	52
Tabla 27. Prueba t-Student para medias de dos muestras emparejadas .....	52
Tabla 28. Datos experimentales del secado de la flor picada con T = 45 °C y W = 3,5m/s .....	54
Tabla 29. Resumen del modelo de regresión lineal (T1 = 45 °C; W3 = 3,5 m/s) .....	55
Tabla 30. Análisis de varianza del modelo de regresión lineal (T1 = 45 °C; W3 = 3,5 m/s).....	55

Tabla 31. Coeficientes de la ecuación lineal ( $T_1 = 45\text{ }^\circ\text{C}$ ; $W_3 = 3,5\text{ m/s}$ ).....	56
Tabla 32. Resumen del modelo de regresión logarítmica ( $T_1 = 45\text{ }^\circ\text{C}$ ; $W_3 = 3,5\text{ m/s}$ ).....	57
Tabla 33. Análisis de varianza del modelo de regresión logarítmica ( $T_1 = 45^\circ\text{C}$ ; $W_3 = 3,5\text{m/s}$ ).....	57
Tabla 34. Coeficientes de la ecuación logarítmica ( $T_1 = 45\text{ }^\circ\text{C}$ ; $W_3 = 3,5\text{ m/s}$ ). .....	57
Tabla 35. Prueba t-Student para medias de dos muestras emparejadas .....	57
Tabla 36. Datos experimentales del secado de la flor picada con $T = 50\text{ }^\circ\text{C}$ y $W = 1,5\text{m/s}$ . .....	59
Tabla 37. Resumen del modelo de regresión lineal ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ; $W_1 = 1,5\text{ m/s}$ ). .....	60
Tabla 38. Análisis de varianza del modelo de regresión lineal ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ; $W_1 = 1,5\text{ m/s}$ ).....	60
Tabla 39. Coeficiente de la ecuación lineal ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ; $W_1 = 1,5\text{ m/s}$ ). .....	61
Tabla 40. Resumen del modelo de regresión logarítmica ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ; $W_1 = 1,5\text{ m/s}$ ).....	62
Tabla 41. Análisis de varianza del modelo de regresión logarítmica ( $T_2 = 50^\circ\text{C}$ ; $W_1 = 1,5\text{m/s}$ ).....	62
Tabla 42. Coeficientes de la ecuación logarítmica ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ; $W_1 = 1,5\text{ m/s}$ ). .....	62
Tabla 43. Prueba t-Student para medias de dos muestras emparejadas .....	62
Tabla 44. Datos experimentales del secado de la flor picada con $T = 50\text{ }^\circ\text{C}$ y $W = 2,5\text{m/s}$ . .....	64
Tabla 45. Resumen del modelo de regresión lineal ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ; $W_2 = 2,5\text{ m/s}$ ). .....	65
Tabla 46. Análisis de varianza del modelo de regresión lineal ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ; $W_2 = 2,5\text{ m/s}$ ).....	65
Tabla 47. Coeficiente de la ecuación lineal ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ; $W_1 = 1,5\text{ m/s}$ ). .....	66
Tabla 48. Resumen del modelo de regresión logarítmica ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ; $W_2 = 2,5\text{ m/s}$ ).....	67
Tabla 49. Análisis de varianza del modelo de regresión logarítmica ( $T_2 = 50^\circ\text{C}$ ; $W_2 = 2,5\text{m/s}$ ).....	67
Tabla 50. Coeficientes de la ecuación logarítmica ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ; $W_2 = 2,5\text{ m/s}$ ). .....	67
Tabla 51. Prueba t-Student para medias de dos muestras emparejadas .....	67
Tabla 52. Datos experimentales del secado de la flor picada con $T = 50\text{ }^\circ\text{C}$ y $W = 3,5\text{ m/s}$ . .....	69
Tabla 53. Resumen del modelo de regresión lineal ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ , $W_3 = 3,5\text{ m/s}$ ) .....	70
Tabla 54. Análisis de varianza del modelo de regresión lineal ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ , $W_3 = 3,5\text{ m/s}$ ).....	70
Tabla 55. Coeficientes de la ecuación lineal ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ , $W_3 = 3,5\text{ m/s}$ ).....	71
Tabla 56. Resumen del modelo de regresión exponencial ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ , $W_3 = 3,5\text{ m/s}$ ).....	72
Tabla 57. Análisis de varianza del modelo de regresión exponencial ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ , $W_3 = 3,5$ $\text{m/s}$ ).....	72
Tabla 58. Coeficientes de la ecuación exponencial ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ , $W_3 = 3,5\text{ m/s}$ ). .....	72
Tabla 59. Prueba t-Student para medias de dos muestras emparejadas .....	72
Tabla 60. Datos experimentales del secado de la flor picada con $T = 55\text{ }^\circ\text{C}$ y $W = 1,5\text{ m/s}$ . .....	74
Tabla 61. Resumen del modelo de regresión lineal ( $T_3 = 55\text{ }^\circ\text{C}$ , $W_1 = 1,5\text{ m/s}$ ) .....	75
Tabla 62. Análisis de varianza del modelo de regresión lineal ( $T_3 = 55\text{ }^\circ\text{C}$ , $W_1 = 1,5\text{ m/s}$ ).....	75
Tabla 63. Coeficientes de la ecuación lineal ( $T_3 = 55\text{ }^\circ\text{C}$ , $W_1 = 1,5\text{ m/s}$ ).....	76
Tabla 64. Resumen del modelo de regresión exponencial ( $T_3 = 55\text{ }^\circ\text{C}$ , $W_1 = 1,5\text{ m/s}$ ).....	77

Tabla 65. Análisis de varianza del modelo de regresión exponencial ( $T_3 = 55\text{ }^\circ\text{C}$ , $W_1 = 1,5\text{ m/s}$ ).....	77
Tabla 66. Coeficientes de la ecuación exponencial ( $T_3 = 55\text{ }^\circ\text{C}$ , $W_1 = 1,5\text{ m/s}$ ). .....	77
Tabla 67. Prueba t-Student para medias de dos muestras emparejadas .....	77
Tabla 68. Datos experimentales del secado de la flor picada con $T = 55\text{ }^\circ\text{C}$ y $W = 2,5\text{ m/s}$ .....	79
Tabla 69. Resumen del modelo de regresión lineal ( $T_3 = 55\text{ }^\circ\text{C}$ , $W_2 = 2,5\text{ m/s}$ ) .....	80
Tabla 70. Análisis de varianza del modelo de regresión lineal ( $T_3 = 55\text{ }^\circ\text{C}$ , $W_2 = 2,5\text{ m/s}$ ).....	80
Tabla 71. Coeficientes de la ecuación lineal ( $T_3 = 55\text{ }^\circ\text{C}$ , $W_2 = 2,5\text{ m/s}$ ).....	81
Tabla 72. Resumen del modelo de regresión logarítmica ( $T_3 = 55\text{ }^\circ\text{C}$ , $W_2 = 2,5\text{ m/s}$ ).....	82
Tabla 73. Análisis de varianza del modelo de regresión logarítmica ( $T_3 = 55^\circ\text{C}$ , $W_2 = 2,5\text{m/s}$ ). 82	
Tabla 74. Coeficientes de la ecuación logarítmica ( $T_3 = 55\text{ }^\circ\text{C}$ , $W_2 = 2,5\text{ m/s}$ ).....	82
Tabla 75. Prueba t-Student para medias de dos muestras emparejadas .....	82
Tabla 76. Datos experimentales del secado de la flor picada con $T = 55\text{ }^\circ\text{C}$ y $W = 3.5\text{m/s}$ . .....	84
Tabla 77. Resumen del modelo de regresión lineal ( $T_3 = 55\text{ }^\circ\text{C}$ , $W_3 = 3,5\text{ m/s}$ ) .....	85
Tabla 78. Análisis de varianza del modelo de regresión lineal ( $T_3 = 55\text{ }^\circ\text{C}$ , $W_3 = 3,5\text{ m/s}$ ).....	85
Tabla 79. Coeficientes de la ecuación lineal ( $T_3 = 55\text{ }^\circ\text{C}$ , $W_3 = 3,5\text{ m/s}$ ).....	86
Tabla 80. Resumen del modelo de regresión logarítmica ( $T_3 = 55\text{ }^\circ\text{C}$ , $W_3 = 3,5\text{ m/s}$ ).....	87
Tabla 81. Análisis de varianza del modelo de regresión logarítmica ( $T_3 = 55^\circ\text{C}$ , $W_3 = 3,5\text{m/s}$ ). 87	
Tabla 82. Coeficientes de la ecuación logarítmica ( $T_3 = 55\text{ }^\circ\text{C}$ , $W_3 = 3,5\text{ m/s}$ ).....	87
Tabla 83. Prueba t-Student para medias de dos muestras emparejadas .....	87

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Diagrama de flujo de elaboración de harina de flor de plátano .....	20
Figura 2. Secador de bandejas de laboratorio de la Universidad Nacional de Jaén .....	24
Figura 3. Humedad residual en función del tiempo (T1=45°C; W = 1,5m/s; 2,5m/s; 3,5m/s) ....	28
Figura 4. Humedad residual en función del tiempo (T2=50°C; W = 1,5m/s; 2,5m/s; 3,5m/s) ....	29
Figura 5. Humedad residual en función del tiempo (T3=55 °C; W =1,5m/s; 2,5m/s; 3,5m/s) ....	31
Figura 6. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio (T1 = 45; W1 = 1,5 m/s; W2 = 2,5 m/s; W3 = 3,5 m/s).....	32
Figura 7. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio (T2 = 50; W1 = 1,5 m/s; W2 = 2,5 m/s; W3 = 3,5 m/s).....	33
Figura 8. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio (T2 = 55; W1 = 1,5 m/s; W2 = 2,5 m/s; W3 = 3,5 m/s).....	33
Figura 9. Humedad residual en función al tiempo (T1 = 45°C; W1 = 1,5 m/s).....	45
Figura 10. Representación de los datos experimentales (●) y de la línea recta (—) generada por el SPSS. (T = 45 °C; W1 = 1,5 m/s). .....	46
Figura 11. Representación de los datos experimentales (●), de la curva logarítmica (—) y de la curva exponencial (—●) generada por el SPSS (T1 = 45 °C; W1 = 1,5 m/s).....	48
Figura 12. Humedad residual en función al tiempo (T1 = 45 °C; W2 = 2,5 m/s).....	50
Figura 13. Representación de los datos experimentales (●) y de la línea recta (—) generada por el SPSS. (T1 = 45 °C; W2 = 2,5 m/s) .....	51
Figura 14. Representación de los datos experimentales (●), de la curva logarítmica (—) y de la curva exponencial (—●) generada por el SPSS. (T 1= 45 °C; W2 = 2,5 m/s).....	53
Figura 15. Humedad residual en función al tiempo (T1 = 45 °C; W3 = 3,5 m/s).....	55
Figura 16. Representación de los datos experimentales (●) y de la línea recta (—) generada por el SPSS. (T1 = 45 °C; W3 = 3,5 m/s) .....	56
Figura 17. Representación de los datos experimentales (●), de la curva logarítmica (—) y de la curva exponencial (—●) generada por el SPSS. (T 1= 45 °C; W3 = 3,5 m/s).....	58
Figura 18. Humedad residual en función al tiempo (T2 = 50 °C; W1 = 1,5 m/s).....	60
Figura 19. Representación de los datos experimentales (●) y de la línea recta (—) generada por el SPSS. (T2 = 50 °C; W2 = 1,5 m/s) .....	61
Figura 20. Representación de los datos experimentales (●), de la curva logarítmica (—) y de la curva exponencial (—●) generada por el SPSS. (T2 = 50 °C; W1 = 1,5 m/s).....	63
Figura 21. Humedad residual en función al tiempo (T2 = 50 °C; W2 = 2,5 m/s).....	65
Figura 22. Representación de los datos experimentales (●) y de la línea recta (—) generada por el SPSS. (T2 = 50 °C; W2 = 2,5 m/s) .....	66



Figura 23. Representación de los datos experimentales (●), de la curva logarítmica (—) y de la curva exponencial (—●) generada por el SPSS. (T2 = 50 °C; W2 = 2,5 m/s).....	68
Figura 24. Humedad residual en función al tiempo (T2 = 50 °C; W3 = 3,5 m/s).....	70
Figura 25. Representación de los datos experimentales (●) y de la línea recta (—) generada por el SPSS. (T2 = 50 °C, W3 = 3,5 m/s).....	71
Figura 26. Representación de los datos experimentales (●), de la curva logarítmica (—) y de la curva exponencial (—●) generada por el SPSS. (T2 = 50 °C, W3 = 3,5 m/s).....	73
Figura 27. Humedad residual en función del tiempo T3 = 55 °C, W1 = 1,5 m/s.....	75
Figura 28. Representación de los datos experimentales (●) y de la línea recta (—) generada por el SPSS. (T3 = 55 °C, W1 = 1,5 m/s).....	76
Figura 29. Representación de los datos experimentales (●), de la curva logarítmica (—) y de la curva exponencial (—●) generada por el SPSS. (T3 = 55 °C, W1 = 1,5 m/s).....	78
Figura 30. Humedad residual en función del tiempo T3 = 55 °C, W2 = 2,5 m/s.....	80
Figura 31. Representación de los datos experimentales (●) y de la línea recta (—) generada por el SPSS. (T3 = 55 °C, W2 = 2,5 m/s).....	81
Figura 32. Representación de los datos experimentales (●), de la curva logarítmica (—) y de la curva exponencial (—●) generada por el SPSS. (T3 = 55 °C, W2 = 2,5 m/s).....	83
Figura 33. Humedad residual en función del tiempo T3 = 55 °C, W3 = 3,5 m/s.....	85
Figura 34. Representación de los datos experimentales (●) y de la línea recta (—) generada por el SPSS. (T3 = 55 °C, W3 = 3,5 m/s).....	86
Figura 35. Representación de los datos experimentales (●), de la curva logarítmica (—) y de la curva exponencial (—●) generada por el SPSS. (T3 = 55 °C, W3 = 3,5 m/s).....	88
Figura 36. Recoleccion de la flor de plátano.....	89
Figura 37. Recepción de la materia prima.....	89
Figura 38. Pesado.....	89
Figura 39. Desprendimiento de las brácteas externas.....	89
Figura 40. Lavado.....	89
Figura 41. Picado.....	89
Figura 42. Sumergido en agua.....	90
Figura 43. Precocción.....	90
Figura 44. Secador de bandejas.....	90
Figura 45. Anemómetro para medir la velocidad de aire.....	90
Figura 46. Secado.....	90
Figura 47. Flor de plátano seca.....	90
Figura 48. Determinación de la humedad de la flor seca (7.03%).....	91
Figura 49. Molido.....	91

Figura 50. Apariencia después de pasar por la molienda .....	91
Figura 51. Tamizado .....	91
Figura 52. Harina de flor de plátano envasada.....	921
Figura 53. Muestra de las harinas trabajadas a tres temperaturas de 45, 50, 55 °C a velocidad de 3,5 m/s.....	92
Figura 54. Determinación de humedad de la flor de plátano natural (89.88%) .....	92
Figura 55. Determinación de pH de la harina de la flor de plátano en estado natural.....	92
Figura 56. Determinación de pH de la harina de la flor de plátano.....	92
figura 57. Determinación de cenizas de la harina de flor de plátano.....	92

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo 1. Resultados de secado de la flor de plátano picada realizadas a una temperatura de 45 °C y velocidades de 1,5; 2,5 y 3,5 m/s .....	44
Anexo 2. Resultados de secado de la flor de plátano picada, realizadas a una temperatura de 50 °C y velocidades de 1,5; 2,5 y 3,5 m/s. ....	59
Anexo 3. Resultados de secado de la flor de plátano picada, realizadas a una temperatura de 55 °C y velocidades de 1,5; 2,5 y 3,5 m/s. ....	74
Anexo 4. Secuencia fotográfica del proceso de la flor de plátano .....	89
Anexo 5. Secuencia fotográfica de los análisis realizados en el desarrollo de la investigación....	92

## RESUMEN

Se determinó el modelo matemático de la cinética de secado de la flor de plátano (*Musa paradisiaca*) para obtener harina. Las muestras picadas en 2 mm de espesor, aproximadamente, se llevaron a un secador de bandejas, a temperaturas de 45, 50 y 55 °C y velocidades de aire de 1,5, 2,5 y 3,5 m/s. Los datos experimentales fueron procesados en Excel para obtener las curvas de secado, luego en el software estadístico SPSS para determinar el modelo matemático, como los  $R^2$  se acercan a 1 todos son aceptables, entonces se utilizó la prueba t Student para medias de dos muestras emparejadas para comparar y validar los modelos matemáticos obtenidos, como resultado se obtuvo la muestra secada a temperatura 55°C y velocidad de aire 3,5 m/s con  $P(T \leq t)$  dos colas = 0.9958, esta muestra tuvo las características organolépticas más resaltantes y agradables, esta temperatura por ser la más alta se considera la más factible porque reduce el tiempo y los costos de procesamiento. Para secar la muestra se empleó un tiempo mínimo de 270 minutos. El tiempo crítico fue de 42 minutos, la humedad crítica 10,47 g H<sub>2</sub>O/g de flor seca y la de equilibrio 0,14 g H<sub>2</sub>O/g de flor seca.

Palabras clave: Modelo matemático, cinética de secado, flor de plátano, harina.

## ABSTRACT

The mathematical model of the drying kinetics of the banana flower (*Musa paradisiaca*) was determined to obtain flour. The samples chopped at approximately 2 mm thick were reduced to a belt dryer, temperatures of 45, 50 and 55 ° C and air velocities of 1.5, 2.5 and 3.5 m / s. The experimental data were processed in Excel to obtain the drying curves, then in the SPSS statistical software to determine the mathematical model, as the  $R^2$  approaches 1 all are acceptable, then they are considered the Student t test for means of two Paired samples to compare and validate the mathematical models obtained, as a result the sample dried at temperature 55 ° C and air velocity 3.5 m / s was obtained with  $P(T \leq t)$  two tails = 0.9958, this sample had the most outstanding and pleasant organoleptic characteristics, this temperature being the highest is considered the most feasible because it reduces processing time and costs. To search for the sample, a minimum time of 270 minutes was used. The critical time was 42 minutes, the critical humidity 10.47 g H<sub>2</sub>O / g dry flower and the equilibrium 0.14 g H<sub>2</sub>O / g dry flower.

Keywords: Mathematical model, drying kinetics, banana flower, flour

## I. INTRODUCCIÓN

La flor o bellota del plátano emerge como un cono largo y afilado al final de la formación de un racimo de bananos. Según (Nadumane y Timsina, 2014) indica que, es rica en vitaminas, fitoquímicos (flavonoides, proteínas) y tiene propiedades antioxidantes que previenen los radicales libres y controlan posibles daños en las células y los tejidos, su extracto ha sido evaluado en células en línea HeLa para contrarrestar el cáncer cervical.

Uno de los mejores métodos de conservación de los vegetales es la deshidratación para aumentar la capacidad de almacenamiento, conservar los nutrientes, ofrecer vida útil prolongada, comodidad en la preparación. A pesar de que la deshidratación es considerada como un proceso de conservación de bajo costo no se han reportado muchos estudios sobre la preservación de la flor de plátano. (Wickramarachchi y Ranamukhaarachchi, 2005).

Si bien existe una gran producción de plátano en el Perú, los agricultores aprovechan solamente el fruto y por desconocimiento desechan la flor, a pesar que tiene un elevado valor nutricional. Es por ello que en la investigación se estudió el modelo matemático de la parte lineal y no lineal de las curvas de cinética de secado obtenidas experimentalmente para describir su proceso de secado y aportar con la base tecnológica en la elaboración de harina de flor de plátano.

Wickramarachchi y Ranamukhaarachchi, (2005), desarrollaron un producto deshidratado de las flores de banano, se cortaron en rodajas de 3 mm, éstas se sumergieron en una solución de ácido cítrico al 0,2% durante 30 minutos y se secaron a tres temperaturas (45°C, 50°C y 55°C) por un tiempo de 8 h, 6 h y 5 h 30 min. En este estudio concluyeron que la mejor combinación de temperatura-tiempo para la deshidratación fue de 50 °C durante 6 horas.

Elaveniya y Jayamuthunagai, (2014), elaboró galletas con alto contenido de fibra y nutritivas mediante la incorporación de polvo de flor de plátano, se pre trataron con solución de ácido cítrico y agua enjuagada con arroz para minimizar la reacción de pardeamiento enzimático y luego fue deshidratado (40°C, 50°C, 60°C y 70°C), luego se pulverizaron y determinaron sus propiedades funcionales, fisicoquímicas y antioxidantes. Entre estas cuatro temperaturas se obtuvo que a 50°C se mostraron los mejores resultados en secado.

Ramu, Shirahatti, Zameer y Nagendra Prasad, (2014) citado por Vélez Arenas, (2018) afirma que el extracto en etanol de la flor del plátano ha sido utilizado para controlar los efectos antihiperlipidémicos lo cual puede detener la aparición de enfermedades como la diabetes.

John, Sangamithra, Veerapandian, Sasikala, Sanju y Bhuvaneswari, (2014), investigaron la influencia de la temperatura del aire en el secado de capa fina de la flor de banano a temperatura de 40°C a 60°C. Determinaron los efectos de la temperatura del aire y el tiempo de secado. Los modelos matemáticos se ajustaron por comparación estadística, concluyéndose que el modelo logarítmico representa las características de secado mejor que las otras ecuaciones.

Velásquez Velásquez, (2007), estudió la estandarización del proceso de secado de la carragenina e implementó ensayos cinéticos a dos temperaturas diferentes de 80 y 100°C. Del estudio cinético se determinaron los parámetros de proceso, tales como la constante de tiempo, el punto crítico y se obtuvo un modelo de secado como un polinomio de tercer grado, además se obtuvo el coeficiente de vaporización y su correlación con la humedad del producto.

El secado constituye uno de los métodos que permite separar un líquido de un sólido. En general es la separación de la humedad de los sólidos (o de los líquidos) por evaporación en una corriente gaseosa. (Ocon y Tojo, 1980, p. 240).

Se usa también como técnica de preservación impidiendo que los microorganismos crezcan, se multipliquen y provoquen la descomposición de los alimentos. Además, muchas de las enzimas que causan los cambios químicos en alimentos no pueden funcionar sin agua. Generalmente es necesario reducir el contenido de humedad por debajo del 5% en peso para preservar su sabor y su valor nutritivo y poder almacenarse durante periodos bastante largos. (Geankoplis, 1998, p. 579)

Para reducir el contenido de humedad de diversos materiales, se debe evaluar las diferentes condiciones de humedad, temperatura del aire empleado y el tiempo requerido para lograr el grado de secado deseado. El material a secarse bajo condiciones específicas de humedad y temperatura del aire debe determinarse experimentalmente. (Ocon y Tojo, 1980) citado por (Barrena et al, 2009, p. 14)

La cinética de secado es la velocidad de secado por la pérdida de humedad del sólido húmedo en la unidad de tiempo aplicando condiciones constantes de secado, es decir con aire cuyas condiciones (temperatura, presión, humedad y velocidad) permanecen constantes con el tiempo. (Ocon y Tojo, 1980, p. 243).



## II. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo general

Determinar el modelo matemático de la cinética del secado de la flor de plátano (*Musa paradisiaca*) para obtener harina.

### 2.2 Objetivos específicos

- Determinar el tiempo de secado a diferentes temperaturas y velocidades de aire sin afectar la calidad de harina de flor de plátano.
- Determinar la humedad crítica y la humedad de equilibrio en el secado de la flor de plátano a diferentes temperaturas.

## **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1 Materiales**

#### **3.1.1 Materia prima**

- Flor de plátano

#### **3.1.2 Materiales de laboratorio**

- Termómetro
- Vaso de precipitación de 50 y 100 ml
- Morteros
- Probetas
- Pizetas
- Tela organza
- Placas Petri
- Varilla de agitación
- Frascos de vidrio
- Crisoles
- Zaranda de mallas (Tamiz N° 70, 212 micras)
- Guantes quirúrgicos
- Papel toalla

#### **3.1.3 Otros materiales**

- Tinas
- Cuchillos
- Tabla de picar
- Coladores
- Cucharas
- Cucharones
- Ollas

### **3.1.4 Equipos**

- Balanza electrónica
- Balanza analítica H. W. Kassel S.A.C.
- Analizador de humedad electrónico marca Sartorius MA35
- Secador de bandejas
- Cocina industrial
- Mufla marca JSB
- Estufa marca KertLab
- pH-metro
- Molino de mano marca corona
- Anemómetro PMA90 CFM/CMM

### **3.1.5 Reactivos**

- Ácido cítrico 0,1 %
- Agua destilada
- Alcohol 96°

### 3.2 Metodología

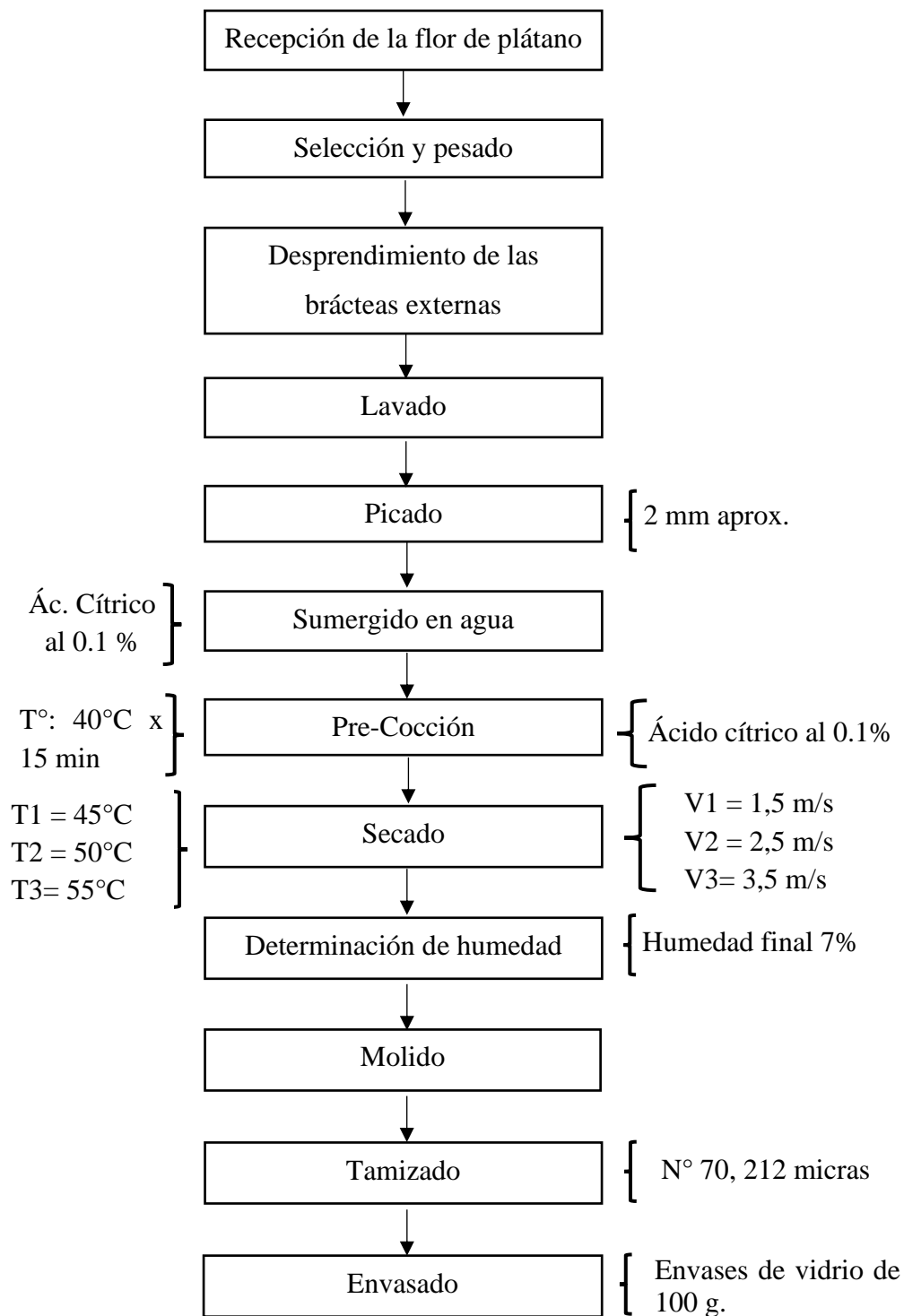


Figura 1. Diagrama de flujo de elaboración de harina de flor de plátano

Las flores de plátano fueron recolectadas manualmente del caserío La Florida perteneciente a la provincia de Jaén, región Cajamarca, luego se trasladaron al laboratorio de taller de tecnología de alimentos donde se realizaron los análisis correspondientes.

Para la obtención de la harina y los modelos matemáticos correspondientes se realizó lo siguiente:

### **3.2.1 Recepción de materia prima**

Las flores de plátano se recolectaron del caserío La Florida, colocándose en sacos para ser trasladados a laboratorio de la Universidad Nacional de Jaén donde finalmente se evaluaron las características físicas (color, apariencia y olor), se realizaron los análisis de humedad: 89,88% y pH: 5.5.

### **3.2.2 Selección y pesado**

Con la materia prima en el laboratorio se procedió a seleccionar y eliminar las flores que se encontraron en mal estado, luego se pesaron aproximadamente 800 g con ayuda de una balanza electrónica.

### **3.2.3 Desprendimiento de las brácteas externas**

En este paso se eliminó las primeras brácteas externas de color morado, ya que algunas estuvieron magulladas y contaminadas al estar en contacto con agentes externos. Este proceso se realizó manualmente teniendo puestos guantes asépticos para evitar la contaminación de la flor de plátano.

### **3.2.4 Lavado**

Las flores de plátano pasaron al proceso de lavado con agua corriente haciendo pequeños masajes con el fin de eliminar las impurezas y partículas extrañas adheridas a la flor.

### **3.2.5 Picado**

Con ayuda de un cuchillo y una tabla de picar las flores de plátano se cortaron en 2 mm aproximadamente para facilitar la adecuada deshidratación y su posterior molido, hasta esta etapa se obtuvo una pérdida aproximada de 160 g.

### **3.2.6 Sumergido en agua**

La flor de plátano picada se sumergió en una solución de 4 litros de agua con ácido cítrico al 0,1% y se dejó reposar durante 5 minutos para evitar la oxidación.

### **3.2.7 Pre - cocción**

En esta etapa se preparó una solución de 4 litros de agua con ácido cítrico al 0.1% y se llevó a fuego lento hasta calentarla a 40°C, se añadió la flor plátano y se fue removiendo lentamente por 15 min para que la pre - cocción sea uniforme, este proceso se lleva a cabo con la finalidad de que la flor adquiera sus características organolépticas sin perder su valor nutricional, se observó que la temperatura del agua más el ácido cítrico bloquea un poco más la oxidación de la flor, permitiéndole tener una apariencia natural y agradable.

### **3.2.8 Secado**

Se pesaron exactamente 610 g de flor de plátano se llevó a un secador de bandejas con la finalidad de reducir la actividad de agua, en esta etapa las muestras fueron sometidas a tres temperaturas (45, 50 y 55) °C y tres velocidades de aire (1,5; 2,5 y 3,5) m/s, estos parámetros determinaron el tiempo de secado y la humedad final.

### **3.2.9 Determinación de humedad**

De acuerdo a la norma técnica peruana la harina debe tener 7% de humedad, este análisis se realizó en el equipo analizador de humedad electrónico de laboratorio de tecnología de alimentos.

### **3.2.10 Molido**

Se realizó en un molino con la finalidad de obtener partículas pequeñas y luego se depositó en un recipiente de acero inoxidable, el molino debe estar bien ajustado para evitar pérdidas en su proceso.

### **3.2.11 Tamizado**

Para realizar este proceso se tuvo en cuenta la norma técnica peruana para harinas, para ello se utilizó un tamiz de número 70 de 212 micras con el objetivo de obtener partículas uniformes.

### **3.2.12 Envasado**

Al finalizar el proceso se obtuvo un promedio de 35 gr de harina de flor de plátano la cual fue envasada en frascos de vidrio transparente para que se pueda ver el producto, además el vidrio es un material totalmente inocuo, por lo cual no altera el producto, es higiénico, evita la formación de bacterias, alargando la vida útil del producto.

### 3.2.13 Cinética de secado de flor de plátano

Antes de realizar el secado del producto se acondicionó el secador de bandejas, en el panel de control se programó la temperatura y con ayuda de un anemómetro se midió la velocidad de aire, luego se colocó la flor de plátano cortada en 2 mm aproximadamente y precocida en las 3 bandejas internas del secador, el cual está compuesto por: cámara de secado, banco de resistencia eléctrica, ventilador con velocidad regulable y control de temperatura automático, la capacidad de las bandejas fue de aproximadamente 200 g cada una (Figura 2).

En la parte superior del secador de bandejas se posicionó una balanza que permitió pesar la estructura interna con la cual se pesó la masa del conjunto (estructura, bandejas y flor picada) cada 5 minutos, desde el inicio de la operación de secado (tiempo cero) hasta el final (minutos). Al final de este tiempo, las 3 bandejas con flor seca fueron colocadas en la estufa hasta obtener un peso constante, lo que permitió determinar el peso seco de la flor de plátano.



*Figura 2. Secador de bandejas de laboratorio de la Universidad Nacional de Jaén*



### 3.2.13.1 Diseño estadístico de resultados

Los resultados obtenidos en las distintas etapas fueron procesados empleando el software estadístico SPSS.

Se aplicó el diseño estadístico completamente al azar con arreglo factorial de 3T x 3V que se muestra en la tabla 1 donde:

T = Temperatura

V = Velocidad

M = Muestra

*Tabla 1*

*Diseño de bloques completamente al azar*

Repeticiones	Factores								
	T1			T2			T3		
	V1	V2	V3	V1	V2	V3	V1	V2	V3
<b>I</b>	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
<b>II</b>	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18
<b>III</b>	M19	M20	M21	M22	M23	M24	M25	M26	M27

La descripción de los factores en estudio son los siguientes

Factor T temperaturas de secado

T1 = 45°C

T2 = 50°C

T3 = 55°C

Factor V velocidades de secado

V1 = 1,5 m/s

V2 = 2,5 m/s

V3= 3,5 m/s

### 3.2.13.2 Tratamientos estudiados

Se registraron los datos de temperatura y velocidad experimentadas mostradas en la siguiente tabla.

Tabla 2

Temperaturas y velocidades ensayadas

	Temperaturas	Velocidades		
		V1	V2	V3
T1	45 °C	1,5m/s	2,5m/s	3,5m/s
T2	50 °C	1,5m/s	2,5m/s	3,5m/s
T3	55 °C	1,5m/s	2,5m/s	3,5m/s

Luego de obtener los resultados experimentales de secado de la flor de plátano los datos se trasladaron al Excel para determinar:

- El peso de la flor de plátano picada se registró cada 5 minutos (t) y se empleó la siguiente fórmula:  $P_2 = P_1 - P$

Donde:

$P_2$  = Peso de la flor de plátano

$P_1$  = Peso de la estructura más el peso de la flor de plátano

$P$  = Peso de la estructura interna (soporte más 3 bandejas)

- La humedad residual de la flor de plátano picada se calculó con la siguiente fórmula:  $Y = \frac{P_2 - S}{S}$

Donde:

$S$  = Peso de la flor de plátano seca

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

- La humedad residual promedio ( $Y_m$ ) se calculó con la siguiente formula:

$$Y_m = \frac{(Y_i + Y_{i+1})}{2}$$

Con estas fórmulas se determinan los datos que se registran en la tabla 3 para obtener las figuras de cinética de secado de la flor de plátano para posteriormente determinar el modelo matemático correspondiente a cada una de ellas (anexo 1, 2, 3).

#### **3.2.14 Modelamiento matemático de la cinética de secado de la flor de plátano**

Los datos obtenidos de la cinética de secado de la flor de plátano fueron analizados con el software estadístico IBM SPSS Statistics 25 para Windows, se determinaron las ecuaciones correspondientes a la parte lineal y no lineal de cada una de las figuras de secado obtenidos en la presente investigación.

En la tabla 7 se muestran las ecuaciones que establecen el modelo matemático de la cinética de secado de la flor de plátano a cada una de las temperaturas y velocidades de aire experimentadas.

## IV. RESULTADOS

### 4.1 Resultados de la cinética de secado de la flor de plátano

Los resultados obtenidos en la ejecución de secado de la flor de plátano realizadas con una temperatura del aire de 45 °C y velocidades de 1,5; 2,5 y 3,5 m/s se muestra en la figura 3, anexo 1, donde se observa que la humedad crítica ( $Y_c$ ) fue de 9,88 g agua/g flor seca y la humedad de equilibrio ( $Y_{eq}$ ) fue de 0,14 g de agua/g flor seca, se puede apreciar que no ha ocurrido una alteración de estos valores a pesar de que se han utilizado diferentes velocidades de aire de secado conservando la misma temperatura. El tiempo crítico ( $t_c$ ) de secado disminuyó conforme aumentó la velocidad del aire de secado.

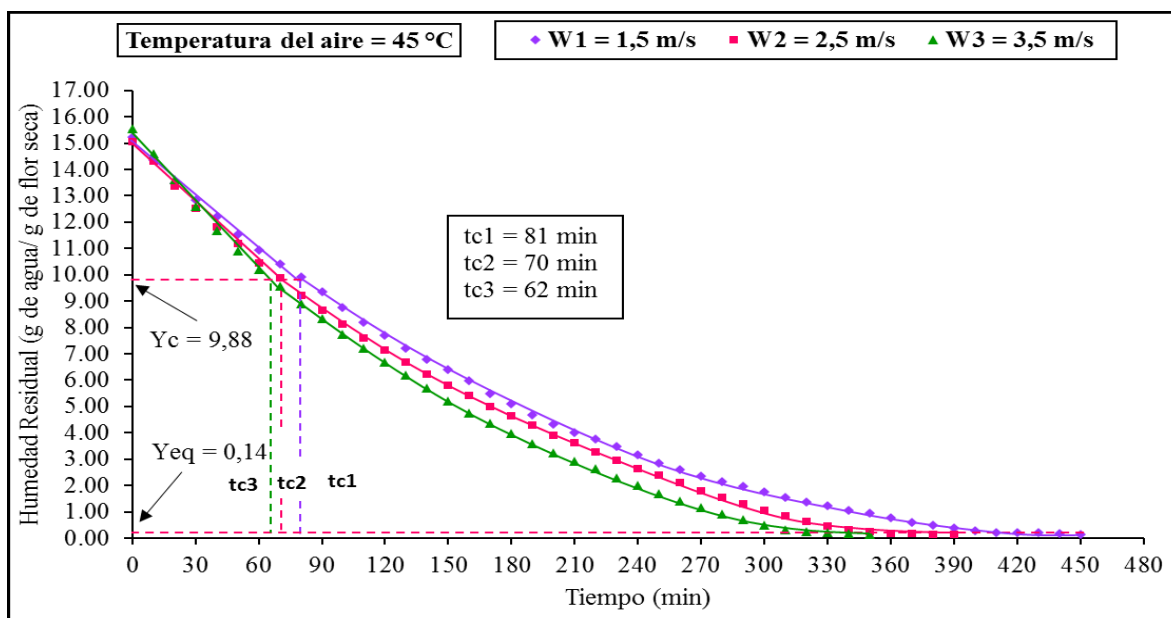


Figura 3. Humedad residual en función del tiempo ( $T_1 = 45$  °C;  $W_1 = 1,5$  m/s;  $W_2 = 2,5$  m/s;  $W_3 = 3,5$  m/s)

Tabla 3

Determinación de la humedad crítica, humedad de equilibrio, tiempo crítico y el tiempo de secado a  $T = 45$  °C con diferentes velocidades de aire.

$T = 45$ °C	$V_1 = 1,5$ m/s	$V_2 = 2,5$ m/s	$V_3 = 3,5$ m/s
<b><math>Y_c</math></b>	9.88g H <sub>2</sub> O/g flor s.	9.88g H <sub>2</sub> O/g flor s.	9.88g H <sub>2</sub> O/g flor s.
<b><math>Y_{eq}</math></b>	0.14 H <sub>2</sub> O/g flor s.	0.14 H <sub>2</sub> O/g flor s.	0.14 H <sub>2</sub> O/g flor s.
<b><math>T_c</math></b>	81 minutos	70 minutos	62 minutos
<b>Tiempo de secado</b>	7h con 30 min.	6h con 30 min	5h con 50 min

Los resultados obtenidos en la ejecución de secado de la flor de plátano realizadas con una temperatura del aire de 50 °C y velocidades de 1,5; 2,5 y 3,5 m/s se muestra en la figura 4, anexo 2, donde se observa que la humedad crítica ( $Y_c$ ) fue de 10,38 g agua/g flor seca y la humedad de equilibrio ( $Y_{eq}$ ) fue de 0,14 g de agua/g flor seca, se puede apreciar que no ha ocurrido una alteración de estos valores a pesar de que se han utilizado diferentes velocidades de aire de secado conservando la misma temperatura. El tiempo crítico ( $t_c$ ) de secado disminuyó conforme aumentó la velocidad del aire de secado. En la siguiente figura se muestran las curvas de las tres velocidades para una misma temperatura y poder apreciar mejor la diferencia entre ellas.

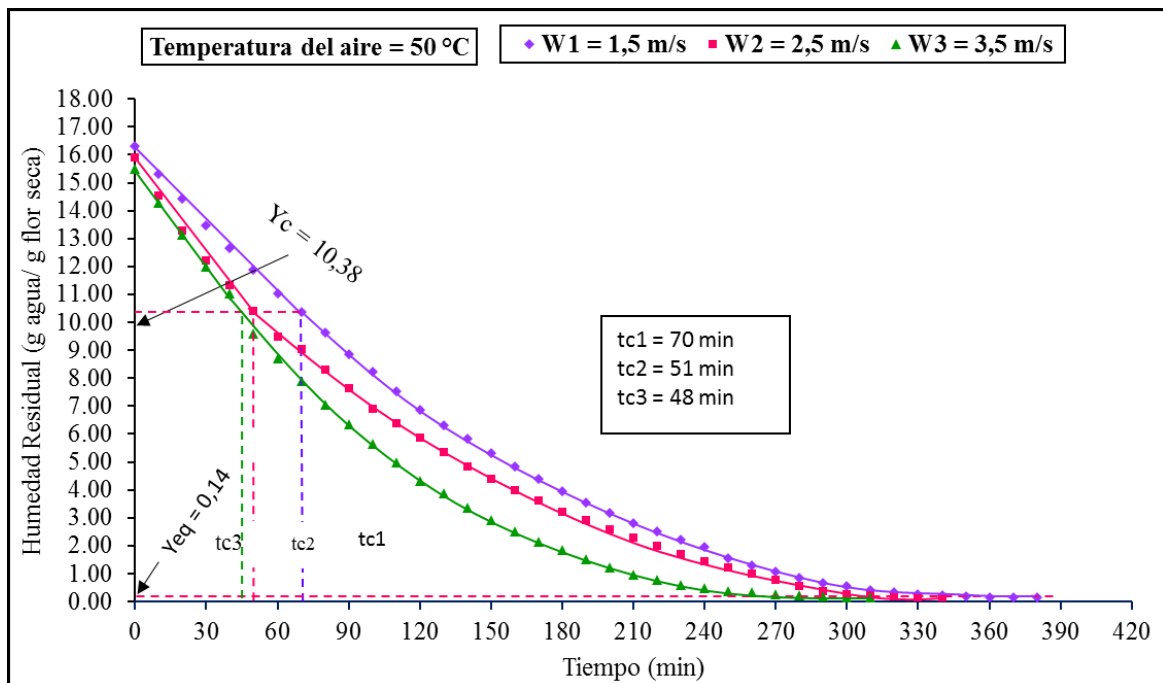


Figura 4. Humedad residual en función del tiempo ( $T_2 = 50^\circ\text{C}$ ;  $W_1 = 1,5 \text{ m/s}$ ;  $W_2 = 2,5 \text{ m/s}$ ;  $W_3 = 3,5 \text{ m/s}$ )

Tabla 4

Determinación de la humedad crítica, humedad de equilibrio, tiempo crítico y el tiempo de secado a  $T = 50^\circ\text{C}$  con diferentes velocidades de aire.

$T = 50^\circ\text{C}$	$V_1 = 1,5 \text{ m/s}$	$V_2 = 2,5 \text{ m/s}$	$V_3 = 3,5 \text{ m/s}$
<b><math>Y_c</math></b>	10.38g H <sub>2</sub> O/g flor s.	10.38g H <sub>2</sub> O/g flor s.	10.38g H <sub>2</sub> O/g flor s.
<b><math>Y_{eq}</math></b>	0.14 H <sub>2</sub> O/g flor s.	0.14 H <sub>2</sub> O/g flor s.	0.14 H <sub>2</sub> O/g flor s.
<b><math>T_c</math></b>	70 minutos	51 minutos	48 minutos
<b>Tiempo de secado</b>	6h con 20 min.	5h con 40 min	5h con 10 min

Tabla 5

Datos experimentales del secado de la flor picada con  $T = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $W = 3,5\text{ m/s}$

N°	T	P1	P2 = P1 - P	Y = (P2 - S)/S		Ym
	Tiempo (min)	Peso estructura + flor de plátano al tiempo t (g)	Peso de flor picada al tiempo (g)	humedad residual (g agua/g flor seca)	dY/dt (g agua /g ss.min)	(g agua/g flor seca)
1	0	2110.00	610.00	16.45	0.170	15.596
2	10	2050.40	550.40	14.74	0.149	13.999
3	20	1998.30	498.30	13.25	0.138	12.563
4	30	1950.00	450.00	11.87	0.119	11.277
5	40	1908.40	408.40	10.68	0.087	10.249
6	50	1878.10	378.10	9.82	0.094	9.343
7	60	1845.10	345.10	8.87	0.093	8.405
8	70	1812.50	312.50	7.94	0.074	7.567
9	80	1786.50	286.50	7.20	0.098	6.703
10	90	1752.10	252.10	6.21	0.081	5.808
11	100	1723.90	223.90	5.40	0.062	5.096
12	110	1702.30	202.30	4.79	0.073	4.422
13	120	1676.80	176.80	4.06	0.066	3.728
14	130	1653.80	153.80	3.40	0.057	3.115
15	140	1633.90	133.90	2.83	0.047	2.596
16	150	1617.50	117.50	2.36	0.042	2.152
17	160	1602.90	102.90	1.94	0.049	1.696
18	170	1585.60	85.60	1.45	0.036	1.270
19	180	1573.10	73.10	1.09	0.028	0.949
20	190	1563.20	63.20	0.81	0.023	0.695
21	200	1555.30	55.30	0.58	0.015	0.505
22	210	1549.90	49.90	0.43	0.011	0.374
23	220	1546.20	46.20	0.32	0.007	0.286
24	230	1543.70	43.70	0.25	0.003	0.233
25	240	1542.50	42.50	0.22	0.003	0.199
26	250	1541.30	41.30	0.18	0.004	0.163
27	260	1540.00	40.00	0.14	0.000	0.143
28	270	1539.90	39.90	0.14	0.014	0.071

P = 1500g (Peso de la estructura interna del secador); S = 34.96g (Peso de la flor seca)

Los resultados obtenidos en la ejecución de secado de la flor de plátano realizadas con una temperatura del aire de 55 °C y velocidades de 1,5; 2,5 y 3,5 m/s se muestra en la figura 5, anexo 3, donde se observa que la humedad crítica ( $Y_c$ ) fue de 10,47 g agua/g flor seca y la humedad de equilibrio ( $Y_{eq}$ ) fue de 0,14 g de agua/g flor seca, se puede apreciar que no ha ocurrido una alteración de estos valores a pesar de que se han utilizado diferentes velocidades de aire de secado conservando la misma temperatura. El tiempo crítico ( $t_c$ ) de secado disminuyó conforme aumentó la velocidad del aire de secado. En la siguiente figura se muestran las curvas de las tres velocidades para una misma temperatura y poder apreciar mejor la diferencia entre ellas.

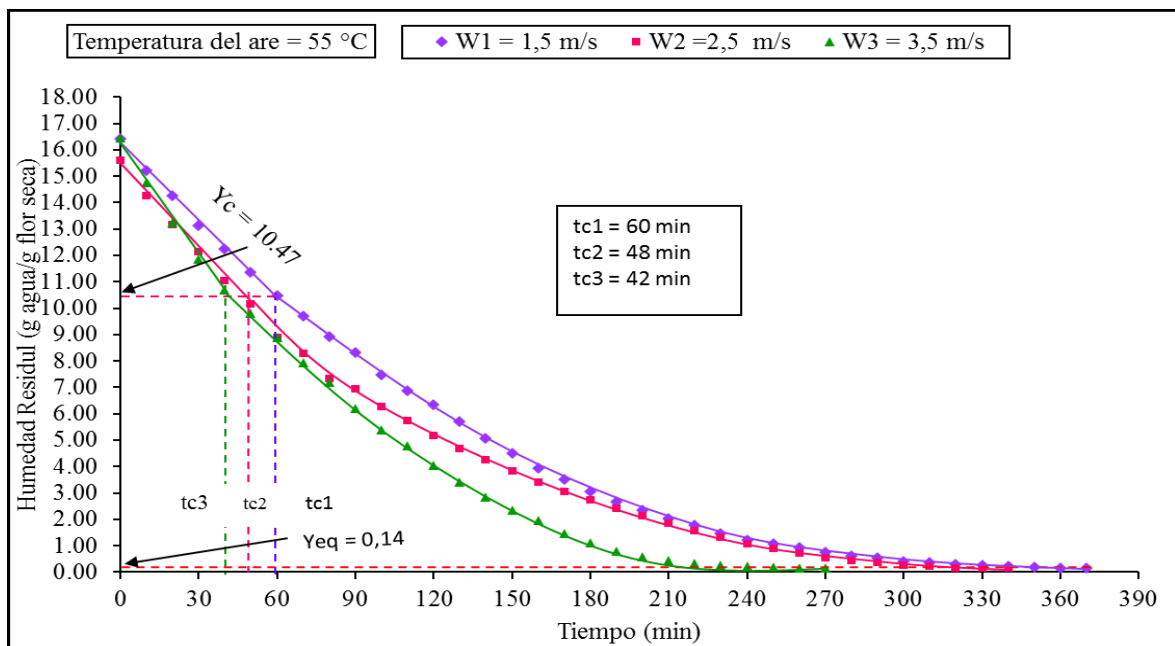


Figura 5. Humedad residual en función del tiempo ( $T_3 = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $W_1=1,5\text{ m/s}$ ;  $W_2 = 2,5\text{ m/s}$ ;  $W_3 = 3,5\text{ m/s}$ )

Tabla 6

Determinación de la humedad crítica, humedad de equilibrio, tiempo crítico y el tiempo de secado a  $T = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$  con diferentes velocidades de aire.

$T = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$	$V_1 = 1,5\text{ m/s}$	$V_2 = 2,5\text{ m/s}$	$V_3 = 3,5\text{ m/s}$
<b><math>Y_c</math></b>	10.47g H <sub>2</sub> O/g flor s.	10.47g H <sub>2</sub> O/g flor s	10.47g H <sub>2</sub> O/g flor s
<b><math>Y_{eq}</math></b>	0.14 H <sub>2</sub> O/g flor s.	0.14 H <sub>2</sub> O/g flor s.	0.14 H <sub>2</sub> O/g flor s.
<b><math>T_c</math></b>	60 minutos	48 minutos	42 minutos
<b>Tiempo de secado</b>	6h con 10 min.	5h con 40 min	4h con 30 min

#### 4.1.1 Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio.

En las figuras 6, 7 y 8 se presentan dos tramos diferentes: uno que corresponde a un periodo de velocidad constante y otro a un periodo de velocidad decreciente. El periodo de velocidad constante va desde la humedad inicial  $Y_0$  hasta la humedad crítica  $Y_c$ . El valor de la humedad crítica depende de las condiciones del aire de secado y del espesor del material a secar; para la mayor parte de las sustancias este valor se determina experimentalmente. El periodo de velocidad decreciente se extiende desde la humedad crítica  $Y_c$  hasta la humedad final del sólido  $Y$ ; cuyo valor límite es  $Y_{eq}$ . (Ocon y Tojo, 1980, p. 244)

Las siguientes figuras (6, 7 y 8) corresponden a la velocidad de secado ( $dY/dt$ ) vs humedad residual promedio ( $Y_m$ ) para cada una de las temperaturas establecidas, se aprecia que los valores de los parámetros cinéticos  $y_c$ ,  $y_{eq}$ ,  $t_c$  analizados en las Figuras (3, 4 y 5) coinciden con las figuras (6, 7 y 8).

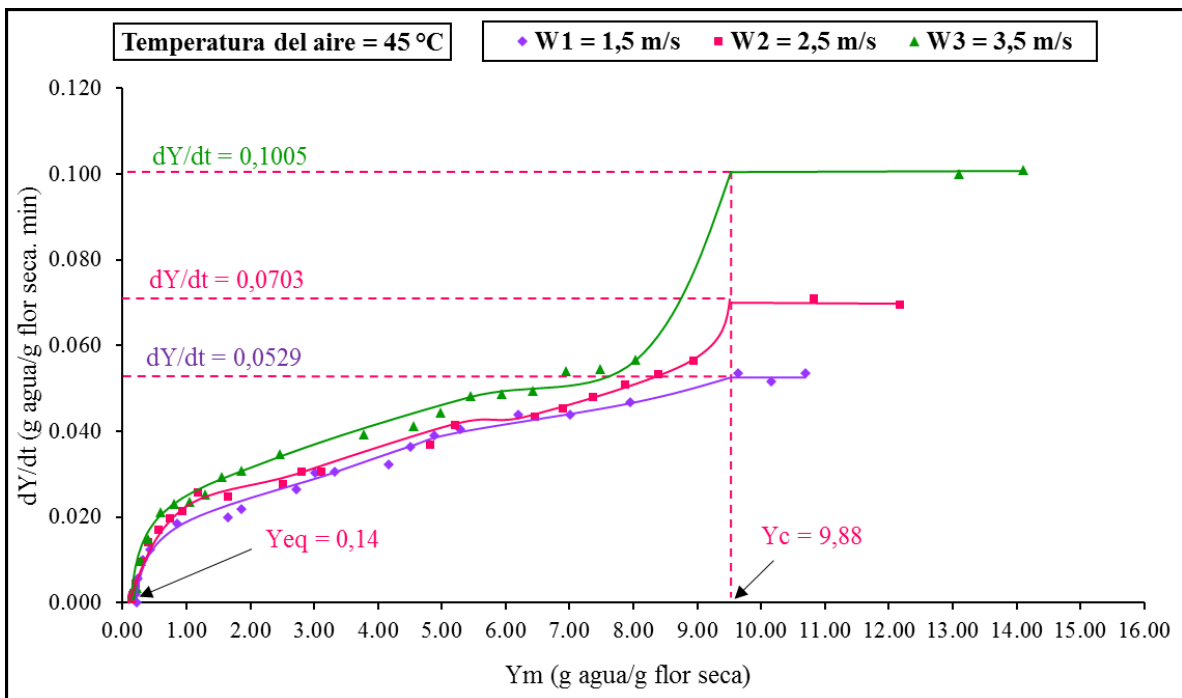


Figura 6. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio ( $T_1 = 45$ ;  $W_1 = 1,5$  m/s;  $W_2 = 2,5$  m/s;  $W_3 = 3,5$  m/s)



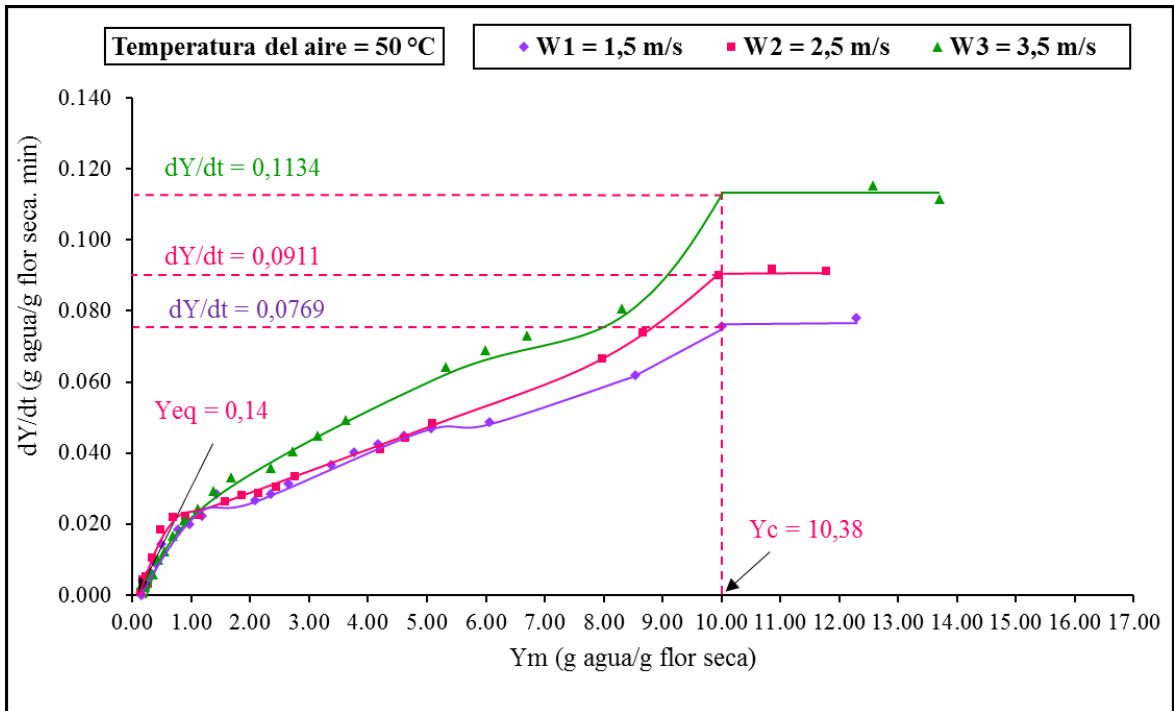


Figura 7. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio ( $T_2 = 50$ ;  $W_1 = 1,5$  m/s;  $W_2 = 2,5$  m/s;  $W_3 = 3,5$  m/s)

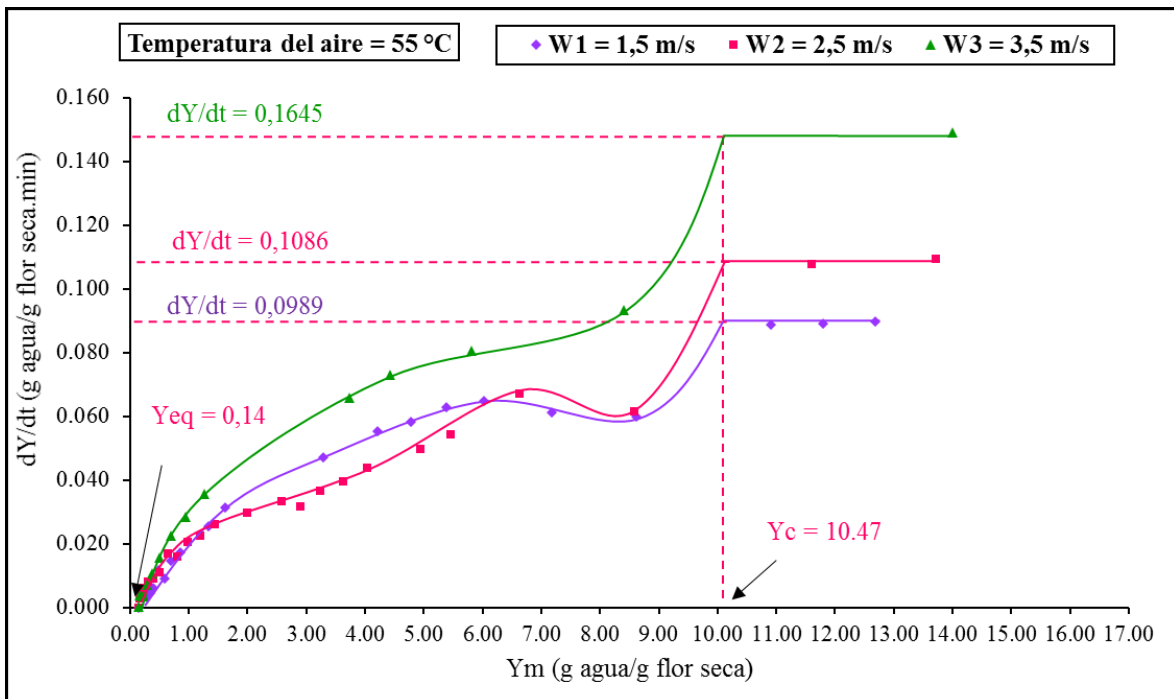


Figura 8. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio ( $T_2 = 55$ ;  $W_1 = 1,5$  m/s;  $W_2 = 2,5$  m/s;  $W_3 = 3,5$  m/s)

## 4.2 Modelos matemáticos de la cinética de secado de la flor de plátano

Tabla 7

Ecuaciones correspondientes de la parte lineal y no lineal de las curvas de cada una de las figuras de la cinética de secado analizados con el software SPSS (Anexo 1, 2, 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 flor seca)	Ecuación de la parte no lineal	R <sup>2</sup>	Humedad de equilibrio (g agua/g flor seca)
45	1,5	$y = -0,066x + 14,963$	0,992	81	9,88	$y = -6,087\ln(x) + 36,694$	0,994	0,14
	2,5	$y = -0,075x + 14,932$	0,995	70		$y = -6,256\ln(x) + 36,978$	0,995	
	3,5	$y = -0,087x + 15,376$	0,994	62		$y = -6,416\ln(x) + 37,259$	0,997	
50	1,5	$y = -0,085x + 16,159$	0,998	70	10,38	$y = -6,498\ln(x) + 37,851$	0,987	0,14
	2,5	$y = -0,109x + 15,683$	0,993	51		$y = -5,902\ln(x) + 33,989$	0,996	
	3,5	$y = -0,112x + 15,432$	0,998	48		$y = 31,372e^{(-0,017x)}$	0,986	
55	1,5	$y = -0,099x + 16,260$	0,997	60	10,47	$y = 37,740e^{(-0,015x)}$	0,988	0,14
	2,5	$y = -0,108x + 15,440$	0,997	48		$y = -5,420\ln(x) + 31,060$	0,992	
	3,5	$y = -0,144x + 16,280$	0,995	42		$Y = -6,276\ln(x) + 34,262$	0,979	

### 4.3 Análisis fisicoquímicos realizados a la flor de plátano fresca

Tabla 8

Análisis realizados a la flor de plátano

Análisis fisicoquímico	Resultados
Humedad %	89,88
pH	5,562

### 4.4 Análisis organolépticos realizados a la harina de flor de plátano

Debido a que todos los modelos matemáticos de las curvas de cinética de secado obtenido con el SPSS, son válidos para todas las temperaturas y velocidades por que el  $R^2$  se acerca a 1, fueron seleccionadas las 3 muestras con mejores características organolépticas.

Tabla 9

Características organolépticas de las tres mejores muestras

Temperatura y velocidades	Aspecto	Color	Olor	Sabor
<b>T = 45°C</b> <b>V = 3.5 m/s.</b>	Apariencia limpia y agradable	Característico, Uniforme	Panela, floral, poco pronunciado	Libre de sabores extraños
<b>T = 50°C</b> <b>V = 3.5 m/s.</b>	Apariencia limpia y agradable	Característico, Uniforme	Panela, floral, medianamente pronunciado	Libre de sabores extraños
<b>T = 55°C</b> <b>V = 3.5 m/s.</b>	Apariencia limpia y agradable	Característico, Uniforme	Panela, floral, altamente pronunciado	Libre de sabores extraños

Como se puede observar en la tabla 9 la muestra que presenta las mejores características organolépticas es la  $T = 55^\circ\text{C}$ ,  $V = 3.5 \text{ m/s}$ , además, esta temperatura por ser la más alta puede considerarse para ser la más factible, ya que reduce el tiempo y los costes de procesamiento, por lo que se tomará esta muestra para realizar los análisis posteriores.

Tabla 10

Determinación de cenizas de la muestra secada a  $T = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $W = 3,5\text{m/s}$

<b>Muestra</b>	<b>Peso del crisol vacío (g)</b>	<b>Peso del crisol + muestra (g)</b>	<b>Peso de la muestra (g)</b>	<b>Peso crisol + muestra después de colocar en la mufla (g)</b>	<b>Contenido de cenizas (%)</b>
<b>M1</b>	21.6892	22.6872	0.998	21.7568	6.77%
<b>M2</b>	22.2703	23.2725	1.0022	22.3234	5.30%
<b>M3</b>	22.2403	23.2408	1.0005	22.2914	5.11%

Tabla 11

Análisis fisicoquímicos de la harina de flor de plátano

<b>Análisis fisicoquímico</b>	<b>Resultados</b>
<b>Humedad</b>	7.03%
<b>pH</b>	4.78
<b>Cenizas</b>	5.73%
<b>Tamaño de las partículas (granulosidad)</b>	El 98 % de la harina pasó a través de un tamiz (No. 70) de 212 micras

## V. DISCUSIONES.

- Para secar la flor de plátano picada con 2 mm de espesor a temperaturas de 45 °C, 50°C y 55 °C, velocidad de aire de 3,5 m/s se necesitan 350, 310 y 270 minutos de operación respectivamente. Hay referencia que (Wickramarachchi y Ranamukhaarachchi, 2005) realizaron una investigación de las flores de plátano cortadas en rodajas de 3 mm con las mismas temperaturas y velocidad de aire de 0,305 m/s, el tiempo de secado de la flor de plátano fue de 480, 360 y 330 minutos, respectivamente. El mayor tiempo de secado obtenido es probablemente debido a la menor velocidad de aire y mayor corte de rodajas de la flor de plátano que se utilizó para secar.
- En la parte no lineal los modelos matemáticos obtenidos del SPSS fueron ecuaciones logarítmicas con alto coeficiente de determinación ( $R^2$ ), valores de 0,997 para 45°C; 0,996 para 50 °C y 0,992 para 55 °C. Hay referencia que (Swamy et al, 2014, p.44) realizaron la investigación “Modelado matemático del secado de capa fina de flores de banano” su resultado fue que el modelo logarítmico obtuvo el mayor  $R^2$  valores de 0,9998, 0,9998 y 0,9997 a 40 ° C, 50 ° C y 60 ° C respectivamente. Esta referencia garantiza que todos los modelos pueden describir satisfactoriamente el secado de las flores de plátano y la curva de velocidad de secado decreciente es mejor representada por una ecuación logarítmica.

## VI. CONCLUSIONES

- Todos los modelos matemáticos obtenidos del SPSS dieron alto coeficiente de determinación ( $R^2$ ) para la parte lineal valores en el intervalo desde 0,992 hasta 0,994 a 45 ° C, desde 0,993 hasta 0,998 a 50 ° C y 0,995 hasta 0,997 a 55 ° C. Esto indica que todos los modelos matemáticos pueden describir satisfactoriamente el secado de las flores de plátano. En la parte no lineal el modelo logarítmico que obtuvo el mayor  $R^2$  valores de 0,997 para 45 °C; 0,996 para 50 °C y 0,992 para 55 °C. Por lo tanto, este modelo puede suponer para presentar el comportamiento de secado de las flores y la curva de velocidad de secado decreciente es mejor representada por una ecuación logarítmica.
- A mayor temperatura y velocidad del aire en el proceso de secado, se reduce el tiempo de secado. La temperatura óptima para secado de la flor de plátano fue de 55°C, a velocidad de aire de 3,5 m/s, la humedad crítica ( $Y_c$ ) fue de 10,47g agua/g flor seca y la humedad de equilibrio ( $Y_{eq}$ ) fue 0,14 g de agua/g flor seca, estas condiciones de secado dieron como resultado que las características organolépticas fueron las más resaltantes con respecto a las otras muestras.
- En cada una de las figuras de cinética de secado obtenidas se puede observar que la humedad crítica ( $Y_c$ ) y la humedad en equilibrio ( $Y_{eq}$ ) no variaron pese a que se empleó diferentes velocidades de aire de secado conservando la misma temperatura. El tiempo crítico ( $t_c$ ) de secado disminuyó conforme aumentó la velocidad del aire de secado.

## **VII. RECOMENDACIONES**

- Consumir la flor de plátano ya que según antecedentes bibliográficos es un producto con alto valor nutricional, (Nadumane Kilingar y Timsina, 2014) citado por (Vélez Arenas, 2018) esta flor es rica en fitoquímicos, vitaminas, flavonoides, proteínas, también posee propiedades antioxidantes que previenen los radicales libres y controlan posibles daños en las células y los tejidos, de esta manera se incentiva su aprovechamiento y posterior introducción al mercado.
- Realizar otras investigaciones referentes a la flor de plátano, ya que hay muy pocos estudios realizados sobre este vegetal.
- Secar la flor de plátano utilizando un secador solar con la finalidad de reducir los gastos de energía eléctrica.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barrena Gurbillón, M. Á., Maicelo Quintana, J. L., Gamarra Torres, O. A., y Cárdenas Alavo, R. D. (2009). Cinética de Secado de Lúcumá (*Pouteria lucuma* L.). *RESEARCH ARTICLE*, 276.
- Elaveniya, E., y Jayamuthunagai, J. (Septiembre de 2014). Functional, Physicochemical and anti-oxidant properties of dehydrated banana blossom powder and its incorporation in biscuits. *Revista Internacional de Investigación ChemTech CODEN (EE. UU.)*.
- Geankoplis, C. J. (1998). *Transport Process and Unit Operations*. USA: Prentice-Hall.
- Giraldo Zuniga, A. D., Arévalo Pinedo, A., Ferreira Silva, A., Ferreira Silva, P., Valdes Sierra, J. C., y De Menezes Pavlak, M. C. (marzo de 2010). Datos experimentales de la cinética del secado y del modelo matemático para pulpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) en rodajas. *Ciencia e Tecnologia de Alimentos*, 179-182.
- John, S. G., Sangamithra, A., Veerapandian, C., Sasikala, S., Sanju, V., y Bhuvaneshwari, S. (2014). Mathematical modelling of the thin layer drying of banana blossoms. *Journal of Nutritional Health y Food Engineering*, 42-49.
- Nadumane Kilingar, V., y Timsina, B. (2014). Anti-cancer potential of banana flower extract: An in vitro study. *Revista de Farmacología de Bangladesh*, 628-635.
- Ocon Garcia, J., y Tojo Barreiro, G. (1980). *Problemas de ingeniería química* (5ta. Reimpresión ed., Vol. Tomo II). España: Aguilar S.A.
- Ramu, R., Shirahatti, P., Zameer, F., y Nagendra Prasad, M. N. (18 de Abril de 2014). Investigation of the antihyperglycemic activity of banana (*Musa* sp., Nanjangud rasa bale) in normal and diabetic rats. *Journal of the Science of Food and Agriculture (SCI)*, 417.
- Velásquez Velásquez, V. D. (2007). Estandarización del Proceso de Secado de Carragenina en la Empresa Extractos Naturales Gelymar S.A. (*Tesis de licenciatura*). Universidad Austral de Chile, Valdivia.
- Vélez Arenas, J. S. (23 de Agosto de 2018). *Actividad antioxidante de la flor de plátano*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Juan\\_Velez26/publication/327207211\\_Actividad\\_antioxidante\\_de\\_la\\_flor\\_del\\_platano/links/5b7ffc6f4585151fd12f1e72/Actividad-antioxidante-de-la-flor-del-platano.pdf?origin=publication\\_detail](https://www.researchgate.net/profile/Juan_Velez26/publication/327207211_Actividad_antioxidante_de_la_flor_del_platano/links/5b7ffc6f4585151fd12f1e72/Actividad-antioxidante-de-la-flor-del-platano.pdf?origin=publication_detail)



Wickramarachchi , K. S., y Ranamukhaarachchi, S. L. (2005). Preservation of Fiber-Rich Banana Blossom. *ScienceAsia* , 265-271.

## **IX. AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Nacional de Jaén por permitirnos realizar nuestros estudios universitarios, brindarnos las facilidades de laboratorio para la ejecución de esta investigación.

Al Mg. Polito Michael Huayama Sopla, por habernos apoyado y guiado durante todo el proceso con el asesoramiento de la tesis.

Al Mg. Segundo Alipio Cruz Hoyos asesor, por ayudarnos en el desarrollo de esta investigación.

Al Msc. Lenin Quiñones Huatangari por ayudarnos con la parte estadística de los datos experimentales.

Al Lic. Adán Diaz Ruíz por guiarnos durante el proceso de la ejecución en laboratorio dándonos algunos alcances necesarios para realizar correctamente la experimentación.

Y agradecer infinitamente a nuestros familiares por apoyarnos en todas las etapas del desarrollo de esta investigación.

## **X. DEDICATORIA**

A Dios, por brindarme vida y salud, a mis padres Emelina Torres Silva y Pedro Martínez Manayay, por darme su apoyo incondicional en todos los aspectos de mi vida, a toda mi familia en general por ayudarme durante el desarrollo de esta tesis, en especial a mi tío Walter Salazar Fernández y a mi abuelito Segundo Mauro Torres Pérez que están en el cielo.

### **Medaly Yaqueline**

A Dios, por guiarme y bendecirme en cada etapa de mi vida, permitiendo terminar mis estudios universitarios y concluir con esta tesis para obtener mi título profesional.

A mis padres, Eriberto Rojas Gonzales y Teofila Guevara Flores por darme las fuerzas necesarias para seguir adelante, mostrando garra y coraje para enfrentar los obstáculos.

A mis hermanos, por apoyarme emocionalmente, en especial a mi hermano Fernando Rojas Guevara que está en el cielo.

### **Rosa Rojas**

## XI. ANEXOS

*Anexo 1. Resultados de secado de la flor de plátano picada realizadas a una temperatura de 45 °C y velocidades de 1,5; 2,5 y 3,5 m/s*

*Tabla 12*

*Datos experimentales del secado de la flor picada con  $T = 45\text{ °C}$  y  $W = 1,5\text{ m/s}$ .*

N°	T		P1	P2 = P1 - P	Y = (P2 - S)/S	dY/dt (g agua /g ss.min)	Ym (g agua/g flor seca)
	Tiempo (min)		Peso estructura + flor de plátano al tiempo t (g)	Peso de flor picada en cuadros al tiempo t (g)	Humedad residual (g agua/g flor seca)		
1	0		2110.00	610.00	15.24	0.087	14.800
2	10		2077.20	577.20	14.36	0.088	13.925
3	20		2044.30	544.30	13.49	0.066	13.158
4	30		2019.50	519.50	12.83	0.062	12.519
5	40		1996.30	496.30	12.21	0.067	11.876
6	50		1971.20	471.20	11.54	0.059	11.249
7	60		1949.20	449.20	10.96	0.054	10.689
8	70		1929.10	429.10	10.42	0.052	10.163
9	80		1909.70	409.70	9.90	0.054	9.637
10	90		1889.60	389.60	9.37	0.060	9.069
11	100		1867.00	367.00	8.77	0.058	8.478
12	110		1845.20	345.20	8.19	0.047	7.954
13	120		1827.60	327.60	7.72	0.050	7.472
14	130		1809.00	309.00	7.22	0.044	7.005
15	140		1792.50	292.50	6.79	0.037	6.599
16	150		1778.50	278.50	6.41	0.044	6.193
17	160		1762.00	262.00	5.97	0.048	5.731
18	170		1743.80	243.80	5.49	0.040	5.287
19	180		1728.60	228.60	5.08	0.039	4.889
20	190		1713.90	213.90	4.69	0.036	4.511
21	200		1700.20	200.20	4.33	0.032	4.168
22	210		1688.10	188.10	4.01	0.026	3.879
23	220		1678.50	178.50	3.75	0.028	3.610
24	230		1667.90	167.90	3.47	0.031	3.316
25	240		1656.40	156.40	3.16	0.030	3.011
26	250		1645.00	145.00	2.86	0.026	2.728
27	260		1635.10	135.10	2.60	0.023	2.479
28	270		1626.30	126.30	2.36	0.020	2.261
29	280		1618.70	118.70	2.16	0.020	2.061
30	290		1611.30	111.30	1.96	0.022	1.853
31	300		1603.10	103.10	1.74	0.020	1.644
32	310		1595.60	95.60	1.54	0.017	1.459
33	320		1589.20	89.20	1.37	0.015	1.298
34	330		1583.50	83.50	1.22	0.016	1.141
35	340		1577.40	77.40	1.06	0.011	1.003
36	350		1573.10	73.10	0.95	0.018	0.854
37	360		1566.20	66.20	0.76	0.016	0.684
38	370		1560.30	60.30	0.61	0.011	0.552
39	380		1556.30	56.30	0.50	0.013	0.436
40	390		1551.60	51.60	0.37	0.010	0.323
41	400		1547.80	47.80	0.27	0.006	0.244
42	410		1545.70	45.70	0.22	0.000	0.216
43	420		1545.70	45.70	0.22	0.002	0.206
44	430		1544.90	44.90	0.20	0.003	0.180
45	440		1543.80	43.80	0.17	0.002	0.155
46	450		1543.00	43.00	0.14	0.014	0.072

P = 1500 g (Peso de la estructura interna del secador); S = 37.57 g (Peso de la flor seca)

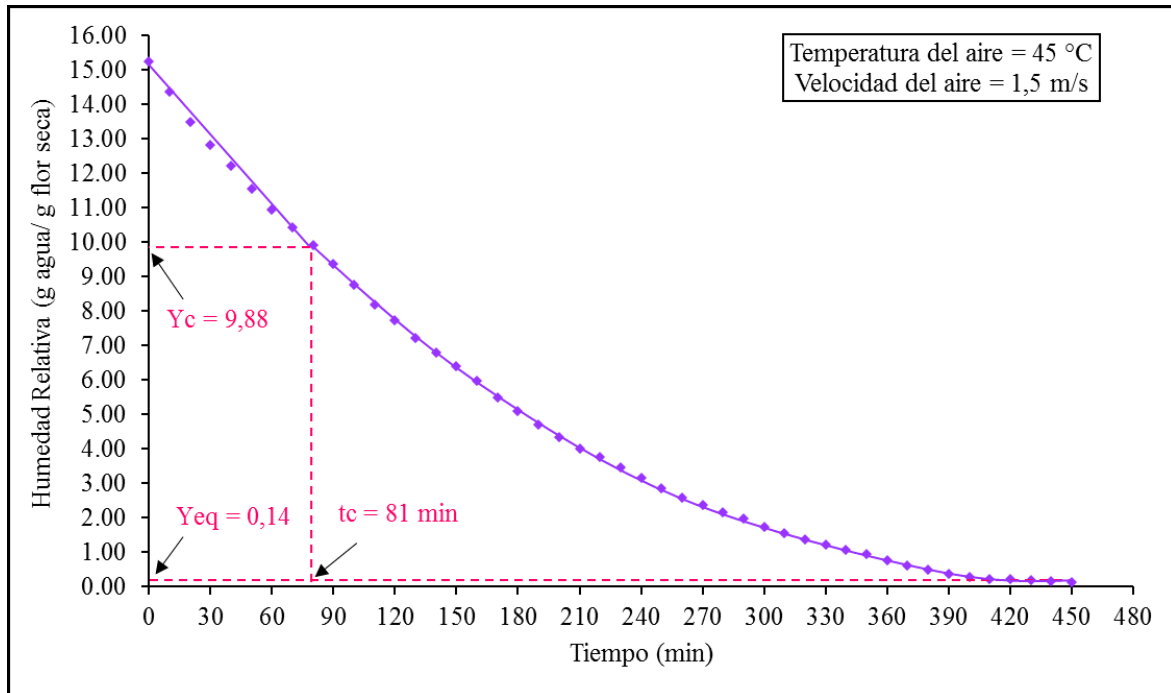


Figura 9. Humedad residual en función al tiempo ( $T1 = 45^{\circ}\text{C}$ ;  $W1 = 1,5 \text{ m/s}$ )

#### Análisis de regresión lineal con el SPSS ( $T1 = 45^{\circ}\text{C}$ ; $W1 = 1,5 \text{ m/s}$ )

Tabla 13

Resumen del modelo de regresión lineal ( $T = 45^{\circ}\text{C}$ ;  $W1 = 1,5 \text{ m/s}$ )

R	R Cuadrado	R cuadrado Ajustado	Error estándar de la estimación
0,996	0,992	0,991	0,173

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 14

Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal ( $T = 45^{\circ}\text{C}$ ;  $W1 = 1,5 \text{ m/s}$ )

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>Regresión</b>	26,044	1	26,044	871,135	0,000
<b>Residuo</b>	0,209	7	0,030		
<b>Total</b>	26,253	8			

La variable independiente es Tiempo

Tabla 15

Coefficientes de la ecuación lineal ( $T = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $W1 = 1,5\text{ m/s}$ ).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Desv. Error	Beta		
<b>Tiempo</b>	-0,066	0,002	-0,996	-29,515	0,000
<b>(Constante)</b>	14,963	0,106		140,798	0,000

La ecuación de la línea recta será de la forma:  $y = -0,066x + 14,963$

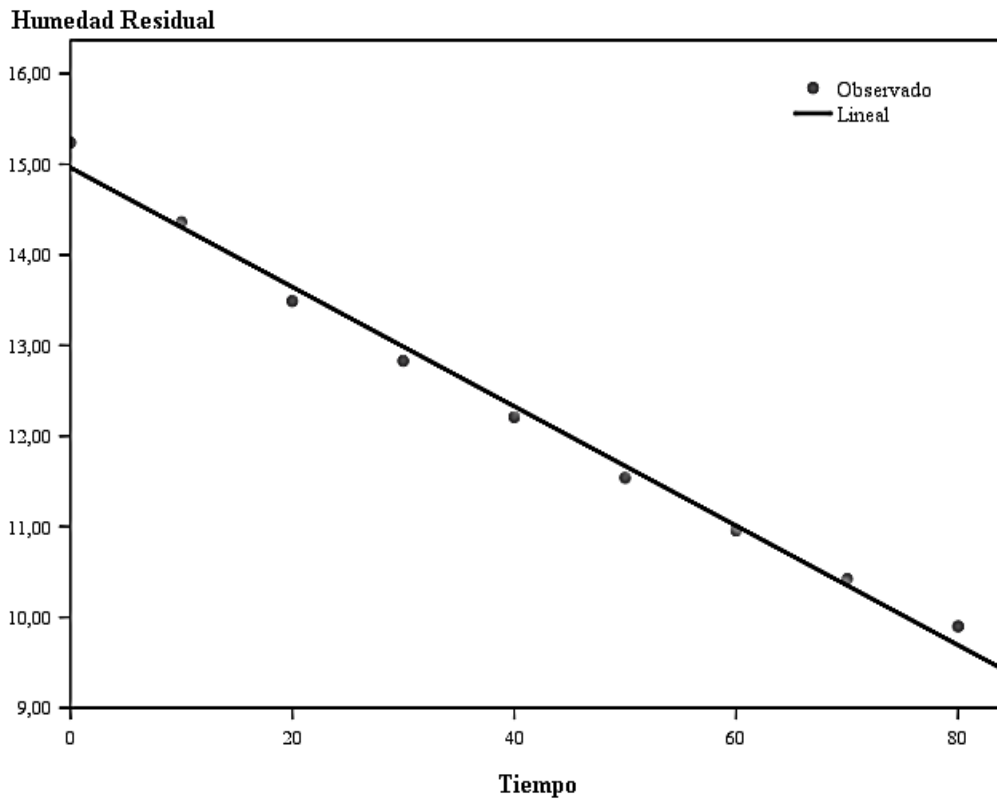


Figura 10. Representación de los datos experimentales (●) y de la línea recta (—) generada por el SPSS. ( $T = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $W1 = 1,5\text{ m/s}$ ).

**Análisis de regresión logarítmica con el SPSS (T = 45 °C; W1 = 1,5 m/s)**

*Tabla 16*

*Resumen del modelo de regresión logarítmica (T = 45 °C; W1 = 1,5 m/s).*

<b>R</b>	<b>R Cuadrado</b>	<b>R cuadrado ajustado</b>	<b>Error estándar de la estimación</b>
0,997	0,994	0,994	0,224

La variable independiente es Tiempo.

*Tabla 17*

*Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión logarítmica (T=45°C; W1=1,5m/s)*

	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
<b>Regresión</b>	280,434	1	280,434	5572,951	0,000
<b>Residuo</b>	1,761	35	0,050		
<b>Total</b>	282,195	36			

La variable independiente es Tiempo.

*Tabla 18*

*Coefficientes de la ecuación logarítmica (T = 45 °C; W1 = 1,5 m/s).*

	<b>Coefficientes no estandarizados</b>		<b>Coefficientes estandarizados</b>	<b>t</b>	<b>Sig.</b>
	<b>B</b>	<b>Desv. Error</b>	<b>Beta</b>		
<b>ln(Tiempo )</b>	-6,087	0,082	-0,997	-74,652	0,000
<b>(Constante)</b>	36,694	0,450		81,464	0,000

La ecuación de la curva logarítmica será de la forma  $y = -6,087\ln(x) + 36,694$

*Tabla 19*

*Prueba t-Student para medias de dos muestras emparejadas*

	<b>t-Student</b>
P(T<=t) dos colas	0.951836

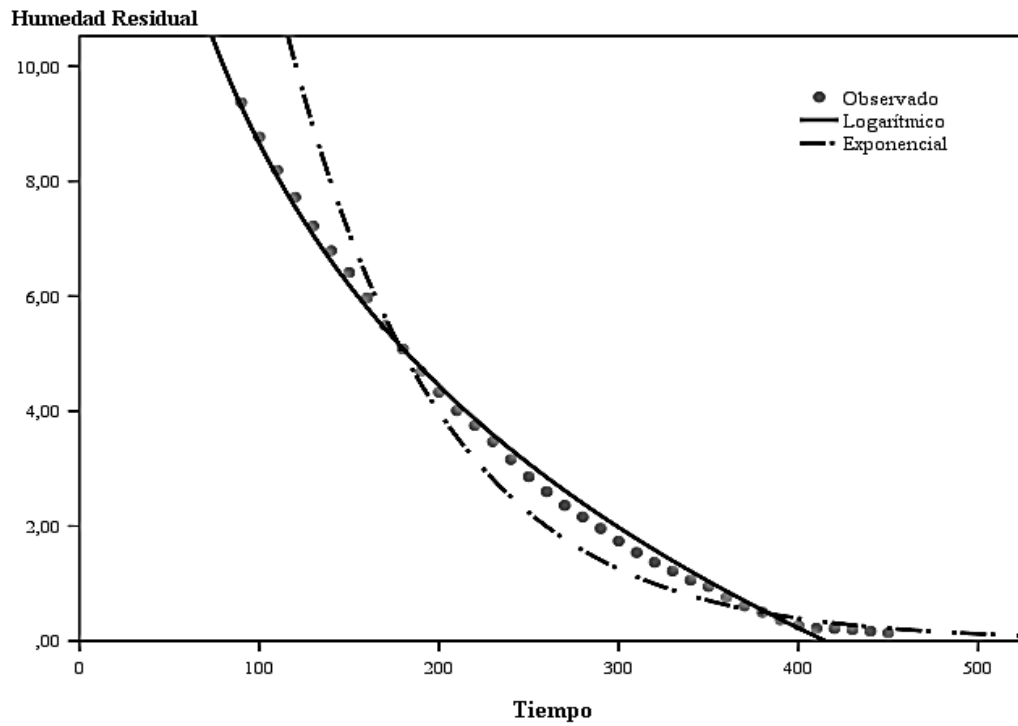


Figura 11. Representación de los datos experimentales (●), de la curva logarítmica (—) y de la curva exponencial (—●) generada por el SPSS la curva logarítmica es la más representativa ( $T1 = 45 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $W1 = 1,5 \text{ m/s}$ )



Tabla 20

Datos experimentales del secado de la flor picada con  $T = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $W = 2,5\text{ m/s}$ .

N°	T	P1	P2 = P1 - P	Y = (P2 - S)/S	dY/dt (g agua /g ss.min)	Ym (g agua/g flor seca)
	Tiempo (min)	Peso estructura + flor de plátano al tiempo t (g)	Peso de flor picada en cuadros al tiempo t (g)	Humedad residual (g agua/g flor seca)		
1	0	2110.00	610.00	15.05	0.074	14.680
2	10	2081.70	581.70	14.31	0.096	13.829
3	20	2045.30	545.30	13.35	0.083	12.933
4	30	2013.60	513.60	12.52	0.069	12.168
5	40	1987.20	487.20	11.82	0.065	11.497
6	50	1962.60	462.60	11.17	0.071	10.818
7	60	1935.60	435.60	10.46	0.058	10.172
8	70	1913.50	413.50	9.88	0.067	9.549
9	80	1888.20	388.20	9.22	0.057	8.933
10	90	1866.70	366.70	8.65	0.053	8.383
11	100	1846.40	346.40	8.12	0.051	7.862
12	110	1827.10	327.10	7.61	0.048	7.368
13	120	1808.90	308.90	7.13	0.045	6.903
14	130	1791.70	291.70	6.68	0.043	6.459
15	140	1775.20	275.20	6.24	0.045	6.018
16	150	1758.20	258.20	5.79	0.037	5.608
17	160	1744.00	244.00	5.42	0.042	5.213
18	170	1728.20	228.20	5.01	0.037	4.821
19	180	1714.20	214.20	4.64	0.035	4.462
20	190	1700.90	200.90	4.29	0.037	4.100
21	200	1686.70	186.70	3.91	0.029	3.770
22	210	1675.80	175.80	3.63	0.036	3.445
23	220	1662.00	162.00	3.26	0.031	3.111
24	230	1650.40	150.40	2.96	0.031	2.805
25	240	1638.80	138.80	2.65	0.028	2.514
26	250	1628.30	128.30	2.38	0.026	2.247
27	260	1618.50	118.50	2.12	0.034	1.950
28	270	1605.70	105.70	1.78	0.025	1.658
29	280	1596.30	96.30	1.53	0.023	1.421
30	290	1587.70	87.70	1.31	0.026	1.179
31	300	1577.90	77.90	1.05	0.021	0.943
32	310	1569.80	69.80	0.84	0.020	0.738
33	320	1562.30	62.30	0.64	0.017	0.554
34	330	1555.80	55.80	0.47	0.014	0.397
35	340	1550.40	50.40	0.33	0.009	0.279
36	350	1546.80	46.80	0.23	0.004	0.209
37	360	1545.10	45.10	0.19	0.002	0.175
38	370	1544.20	44.20	0.16	0.002	0.154
39	380	1543.50	43.50	0.14	0.001	0.141
40	390	1543.20	43.20	0.14	0.014	0.068

P = 1500 g (Peso de la estructura interna del secador); S = 38 g (Peso de la flor seca)

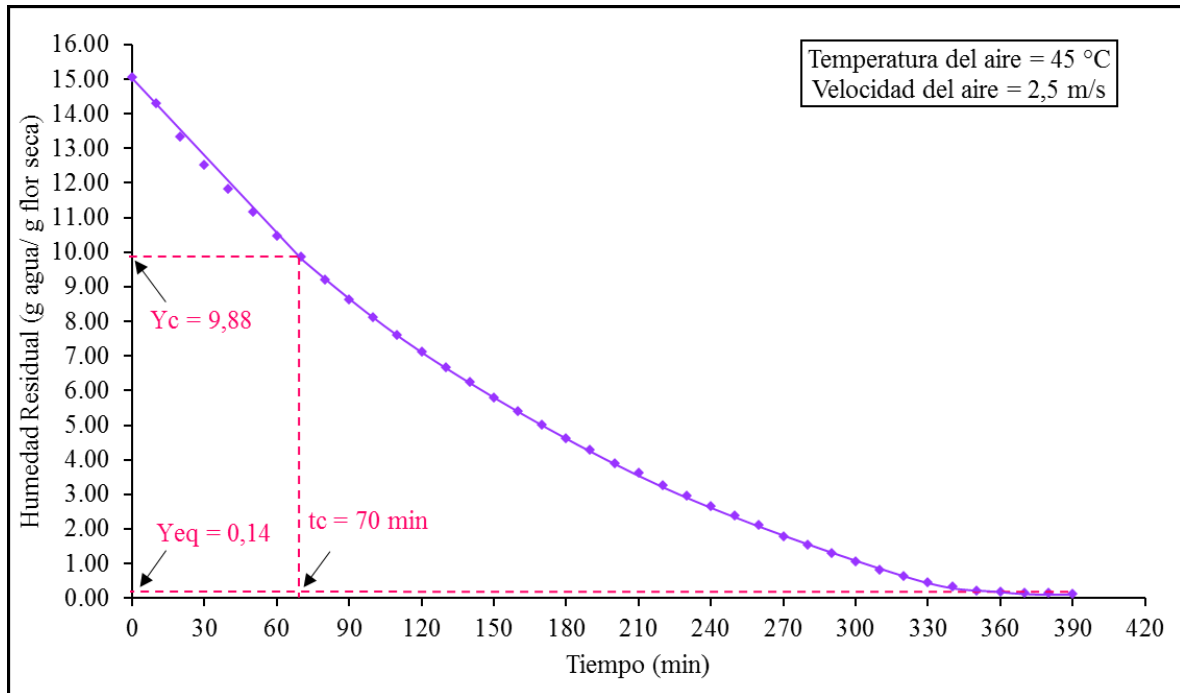


Figura 12. Humedad residual en función al tiempo ( $T1 = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $W2 = 2,5\text{ m/s}$ )

### Análisis de regresión lineal con el SPSS ( $T1 = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; $W2 = 2,5\text{ m/s}$ )

Tabla 21

Resumen del modelo de regresión lineal ( $T1 = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $W2 = 2,5\text{ m/s}$ )

<b>R</b>	<b>R Cuadrado</b>	<b>R cuadrado ajustado</b>	<b>Error estándar de la estimación</b>
0,998	0,995	0,994	0,138

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 22

Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal ( $T1 = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $W2 = 2,5\text{ m/s}$ )

	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
<b>Regresión</b>	23,386	1	23,386	1230,924	0,000
<b>Residuo</b>	0,114	6	0,019		
<b>Total</b>	23,500	7			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 23

Coefficientes de la ecuación lineal ( $T1 = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $W2 = 2,5\text{ m/s}$ ).

	Coeficientes no Estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Desv. Error	Beta		
<b>Tiempo</b>	-0,075	0,002	-0,998	-35,085	0,000
<b>(Constante)</b>	14,932	0,089		167,824	0,000

La ecuación de la línea recta será de la forma:  $y = -0,075x + 14,932$

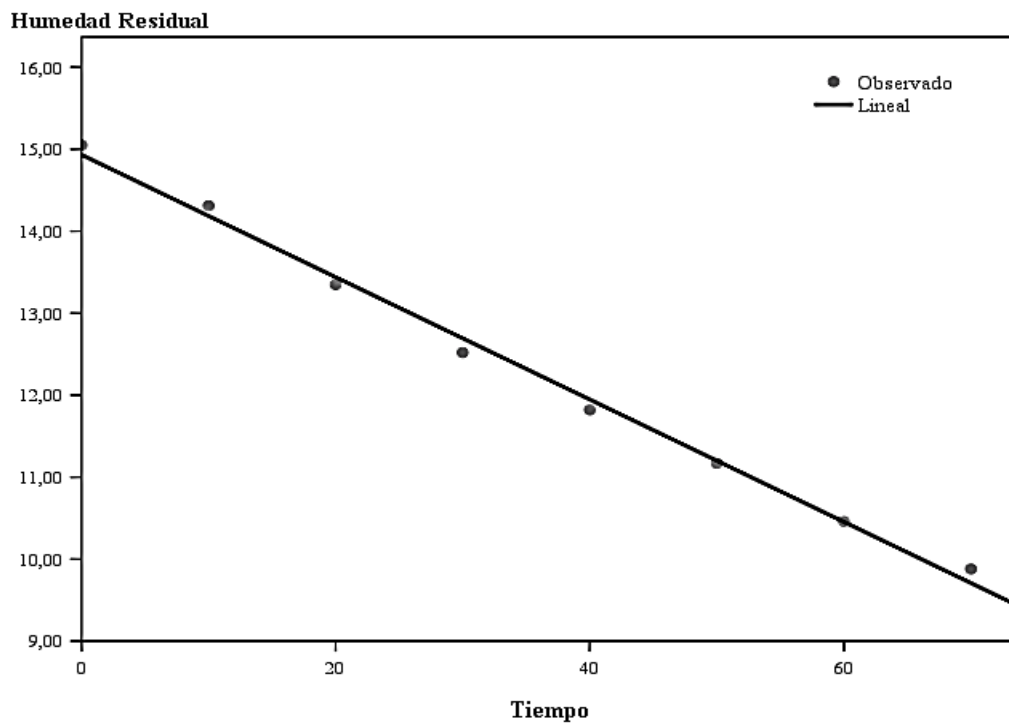


Figura 13. Representación de los datos experimentales (●) y de la línea recta (—) generada por el SPSS. ( $T1 = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $W2 = 2,5\text{ m/s}$ )

**Análisis de regresión logarítmica con el SPSS (T1 = 45 °C; W2 = 2,5 m/s)**

Tabla 24

Resumen del modelo de regresión logarítmica (T1 = 45 °C; W2 = 2,5 m/s).

<b>R</b>	<b>R Cuadrado</b>	<b>R cuadrado ajustado</b>	<b>Error estándar de la estimación</b>
0,998	0,995	0,995	0,195

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 25

Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión logarítmica (T1=45°C; W2=2,5 m/s).

	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
<b>Regresión</b>	251,814	1	251,814	6635,663	0,000
<b>Residuo</b>	1,138	30	0,038		
<b>Total</b>	252,952	31			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 26

Coefficientes de la ecuación logarítmica (T1 = 45 °C; W2 = 2,5 m/s).

	<b>Coefficientes no estandarizados</b>		<b>Coefficientes estandarizados</b>	<b>t</b>	<b>Sig.</b>
	<b>B</b>	<b>Desv. Error</b>	<b>Beta</b>		
<b>ln(Tiempo)</b>	-6,256	0,077	-0,998	-81,460	0,000
<b>(Constante)</b>	36,978	0,414		89,373	0,000

La ecuación de la curva logarítmica será de la forma  $y = -6,256\ln(x) + 36,978$

Tabla 27

Prueba t-Student para medias de dos muestras emparejadas

	<b>t-Student</b>
P(T<=t) dos colas	0.982467289

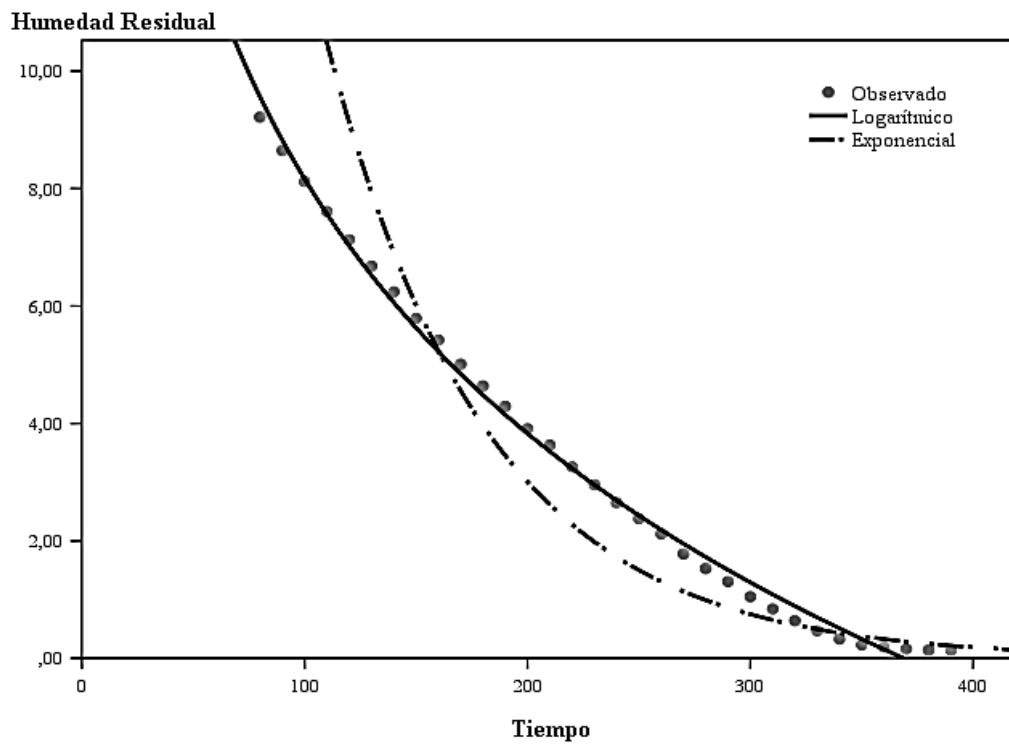


Figura 14. Representación de los datos experimentales (●), de la curva logarítmica (—) y de la curva exponencial (—●) generada por el SPSS. La curva logarítmica es la más representativa ( $T_1 = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $W_2 = 2,5\text{ m/s}$ ).

Tabla 28

Datos experimentales del secado de la flor picada con  $T = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $W = 3,5\text{m/s}$

N°	T	P1	P2 = P1 - P	Y = (P2 - S)/S		
	Tiempo (min)	Peso estructura + flor de plátano al tiempo t (g)	Peso de flor picada en cuadros al tiempo t (g)	Humedad residual (g agua/g flor seca)	dY/dt (g agua /g ss.min)	Ym (g agua/g flor seca)
1	0	2110.00	610.00	15.54	0.093	15.079
2	10	2075.70	575.70	14.61	0.101	14.110
3	20	2038.50	538.50	13.61	0.100	13.105
4	30	2001.60	501.60	12.60	0.091	12.150
5	40	1968.10	468.10	11.70	0.080	11.296
6	50	1938.60	438.60	10.90	0.068	10.555
7	60	1913.50	413.50	10.22	0.065	9.891
8	70	1889.60	389.60	9.57	0.066	9.239
9	80	1865.40	365.40	8.91	0.059	8.616
10	90	1843.70	343.70	8.32	0.057	8.039
11	100	1822.80	322.80	7.76	0.055	7.483
12	110	1802.70	302.70	7.21	0.054	6.940
13	120	1782.80	282.80	6.67	0.049	6.423
14	130	1764.60	264.60	6.18	0.049	5.932
15	140	1746.60	246.60	5.69	0.048	5.447
16	150	1728.80	228.80	5.21	0.044	4.983
17	160	1712.40	212.40	4.76	0.041	4.555
18	170	1697.20	197.20	4.35	0.037	4.164
19	180	1683.60	183.60	3.98	0.039	3.783
20	190	1669.10	169.10	3.59	0.035	3.411
21	200	1656.20	156.20	3.24	0.031	3.079
22	210	1644.60	144.60	2.92	0.029	2.775
23	220	1633.80	133.80	2.63	0.035	2.455
24	230	1621.00	121.00	2.28	0.027	2.148
25	240	1611.10	111.10	2.01	0.031	1.859
26	250	1599.70	99.70	1.70	0.029	1.558
27	260	1588.90	88.90	1.41	0.025	1.285
28	270	1579.60	79.60	1.16	0.024	1.041
29	280	1570.90	70.90	0.92	0.023	0.808
30	290	1562.40	62.40	0.69	0.021	0.587
31	300	1554.60	54.60	0.48	0.015	0.406
32	310	1549.10	49.10	0.33	0.010	0.283
33	320	1545.50	45.50	0.23	0.004	0.216
34	330	1544.20	44.20	0.20	0.004	0.181
35	340	1542.90	42.90	0.16	0.002	0.154
36	350	1542.20	42.20	0.14	0.014	0.072

P = 1500 g (Peso de la estructura interna del secador); S = 36.87 g (Peso de la flor seca)

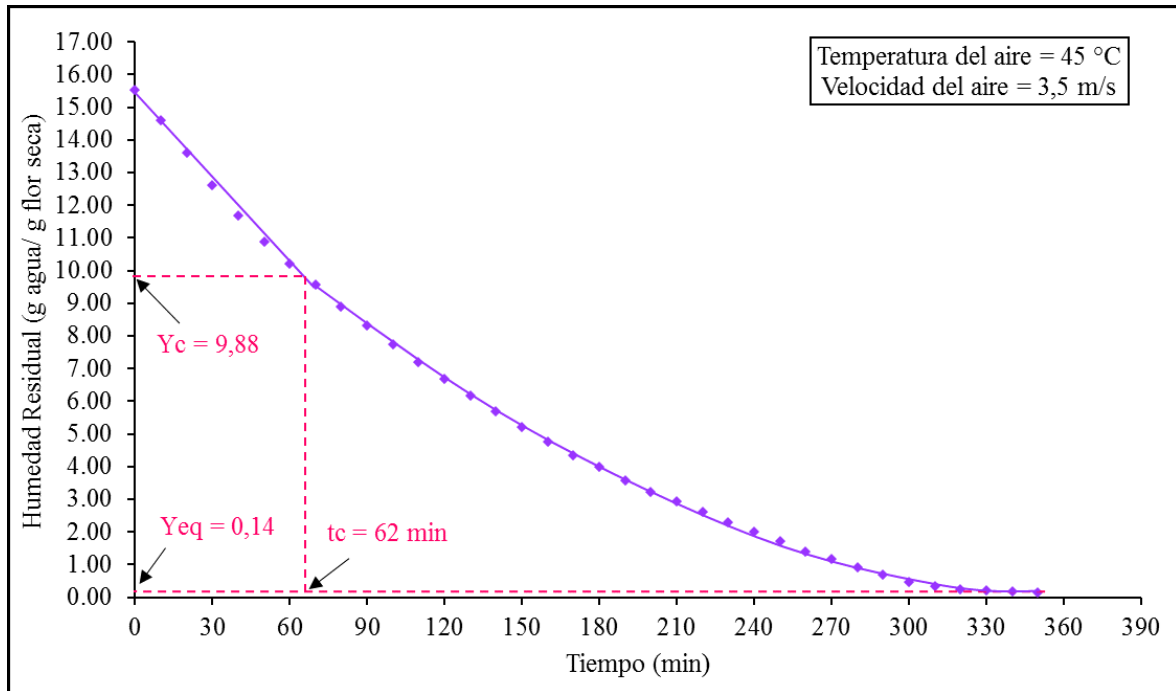


Figura 15. Humedad residual en función al tiempo ( $T1 = 45\text{ °C}$ ;  $W3 = 3,5\text{ m/s}$ ).

**Análisis de regresión lineal con el SPSS ( $T1 = 45\text{ °C}$ ;  $W3 = 3,5\text{ m/s}$ )**

Tabla 29

Resumen del modelo de regresión lineal ( $T1 = 45\text{ °C}$ ;  $W3 = 3,5\text{ m/s}$ )

<b>R</b>	<b>R Cuadrado</b>	<b>R cuadrado ajustado</b>	<b>Error estándar de la estimación</b>
0,997	0,994	0,993	0,184

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 30

Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal ( $T1 = 45\text{ °C}$ ;  $W3 = 3,5\text{ m/s}$ )

	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
<b>Regresión</b>	31,521	1	31,521	931,116	0,000
<b>Residuo</b>	0,203	6	0,034		
<b>Total</b>	31,724	7			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 31

Coefficientes de la ecuación lineal ( $T1 = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $W3 = 3,5\text{ m/s}$ ).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Desv. Error	Beta		
<b>Tiempo</b>	-0,087	0,003	-0,997	-30,514	0,000
<b>(Constante)</b>	15,376	,119		129,464	0,000

La ecuación de la línea recta será de la forma:  $y = -0,087x + 15,376$

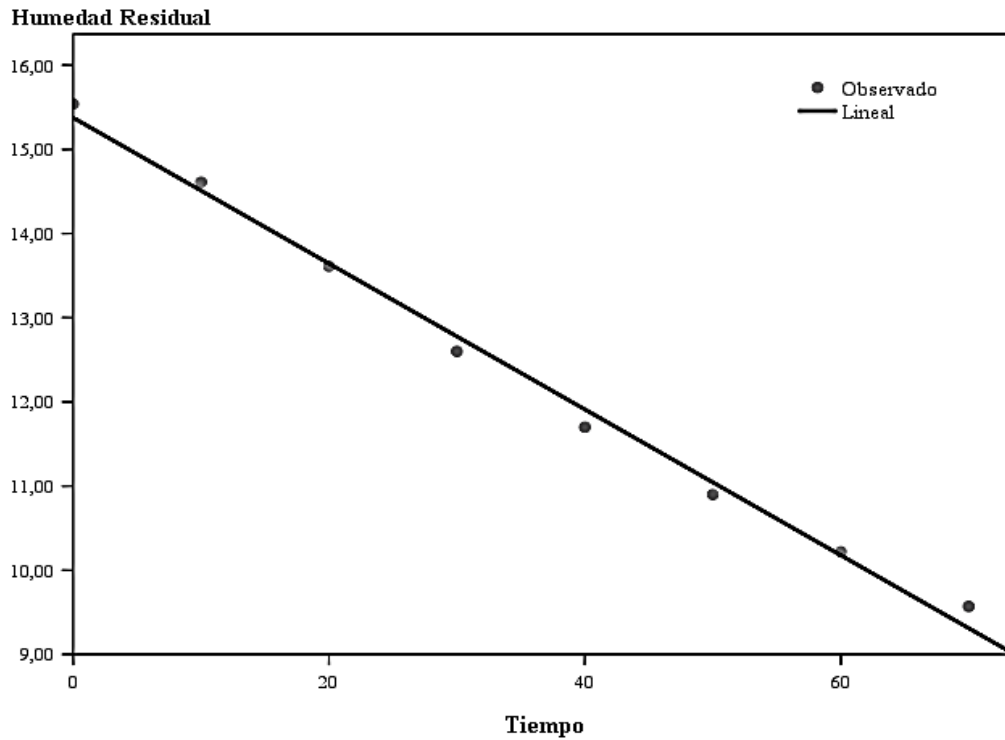


Figura 16. Representación de los datos experimentales (●) y de la línea recta (—) generada por el SPSS. ( $T1 = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $W3 = 3,5\text{ m/s}$ )



**Análisis de regresión logarítmica con el SPSS (T1 = 45 °C; W3 = 3,5 m/s)**

*Tabla 32*

*Resumen del modelo de regresión logarítmica (T1 = 45 °C; W3 = 3,5 m/s).*

<b>R</b>	<b>R Cuadrado</b>	<b>R cuadrado ajustado</b>	<b>Error estándar de la estimación</b>
0,998	0,997	0,997	0,163

La variable independiente es Tiempo.

*Tabla 33*

*Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión logarítmica (T1 = 45 °C; W3 = 3,5 m/s).*

	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
<b>Regresión</b>	206,074	1	206,074	7721,115	0,000
<b>Residuo</b>	0,694	26	0,027		
<b>Total</b>	206,768	27			

La variable independiente es Tiempo.

*Tabla 34*

*Coefficientes de la ecuación logarítmica (T1 = 45 °C; W3 = 3,5 m/s).*

	<b>Coefficientes no estandarizados</b>		<b>Coefficientes estandarizados</b>	<b>t</b>	<b>Sig.</b>
	<b>B</b>	<b>Desv. Error</b>	<b>Beta</b>		
<b>ln(Tiempo)</b>	-6,416	0,073	-0,998	-87,870	0,000
<b>(Constante)</b>	37,259	0,387		96,176	0,000

La ecuación de la curva logarítmica será de la forma  $y = -6,416\ln(x) + 37,259$

*Tabla 35*

*Prueba t-Student para medias de dos muestras emparejadas*

	<b>t-Student</b>
P(T<=t) dos colas	0.93018789

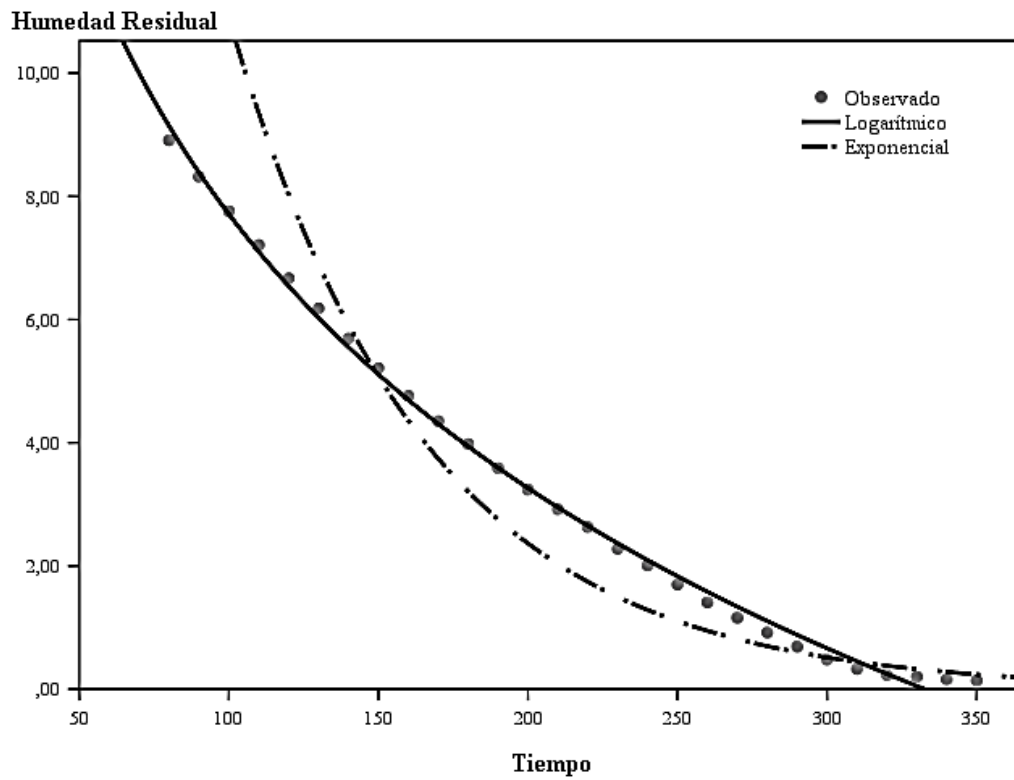


Figura 17. Representación de los datos experimentales (●), de la curva logarítmica (—) y de la curva exponencial (—●) generada por el SPSS. La curva logarítmica es la más representativa ( $T 1 = 45 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $W3 = 3,5 \text{ m/s}$ )

Anexo 2. Resultados de secado de la flor de plátano picada, realizadas a una temperatura de 50 °C y velocidades de 1,5; 2,5 y 3,5 m/s.

Tabla 36

Datos experimentales del secado de la flor picada con  $T = 50\text{ °C}$  y  $W = 1.5\text{ m/s}$ .

N°	T		P1	P2 = P1 - P	Y = (P2 - S)/S	Ym (g agua/g flor seca)
	Tiempo (min)	Peso estructura + flor de plátano al tiempo t (g)	Peso de flor picada al tiempo (g)	humedad residual (g agua/g flor seca)	dY/dt (g agua /g ss.min)	
1	0	2110.00	610.00	16.30	0.099	15.809
2	10	2075.00	575.00	15.31	0.087	14.875
3	20	2044.20	544.20	14.44	0.095	13.963
4	30	2010.70	510.70	13.49	0.081	13.081
5	40	1982.00	482.00	12.67	0.078	12.284
6	50	1954.50	454.50	11.89	0.086	11.465
7	60	1924.30	424.30	11.04	0.065	10.711
8	70	1901.30	401.30	10.38	0.076	10.006
9	80	1874.60	374.60	9.63	0.078	9.235
10	90	1847.00	347.00	8.84	0.062	8.535
11	100	1825.20	325.20	8.23	0.071	7.872
12	110	1800.30	300.30	7.52	0.064	7.197
13	120	1777.60	277.60	6.88	0.056	6.593
14	130	1757.70	257.70	6.31	0.049	6.067
15	140	1740.50	240.50	5.82	0.052	5.562
16	150	1722.10	222.10	5.30	0.047	5.067
17	160	1705.60	205.60	4.83	0.045	4.609
18	170	1689.80	189.80	4.38	0.043	4.172
19	180	1674.80	174.80	3.96	0.040	3.757
20	190	1660.60	160.60	3.56	0.037	3.373
21	200	1647.70	147.70	3.19	0.038	3.000
22	210	1634.30	134.30	2.81	0.031	2.652
23	220	1623.20	123.20	2.50	0.028	2.353
24	230	1613.20	113.20	2.21	0.027	2.078
25	240	1603.80	103.80	1.94	0.037	1.757
26	250	1590.60	90.60	1.57	0.028	1.428
27	260	1580.60	80.60	1.29	0.022	1.174
28	270	1572.70	72.70	1.06	0.020	0.963
29	280	1565.70	65.70	0.86	0.018	0.772
30	290	1559.20	59.20	0.68	0.011	0.623
31	300	1555.20	55.20	0.57	0.014	0.494
32	310	1550.10	50.10	0.42	0.009	0.376
33	320	1546.90	46.90	0.33	0.007	0.298
34	330	1544.60	44.60	0.27	0.005	0.240
35	340	1542.80	42.80	0.21	0.003	0.199
36	350	1541.70	41.70	0.18	0.004	0.163
37	360	1540.30	40.30	0.14	0.000	0.143
38	370	1540.30	40.30	0.14	0.001	0.140
39	380	1540.10	40.10	0.14	0.014	0.069

P = 1500g (Peso de la estructura interna del secador); S = 35.25g (Peso de la flor seca)

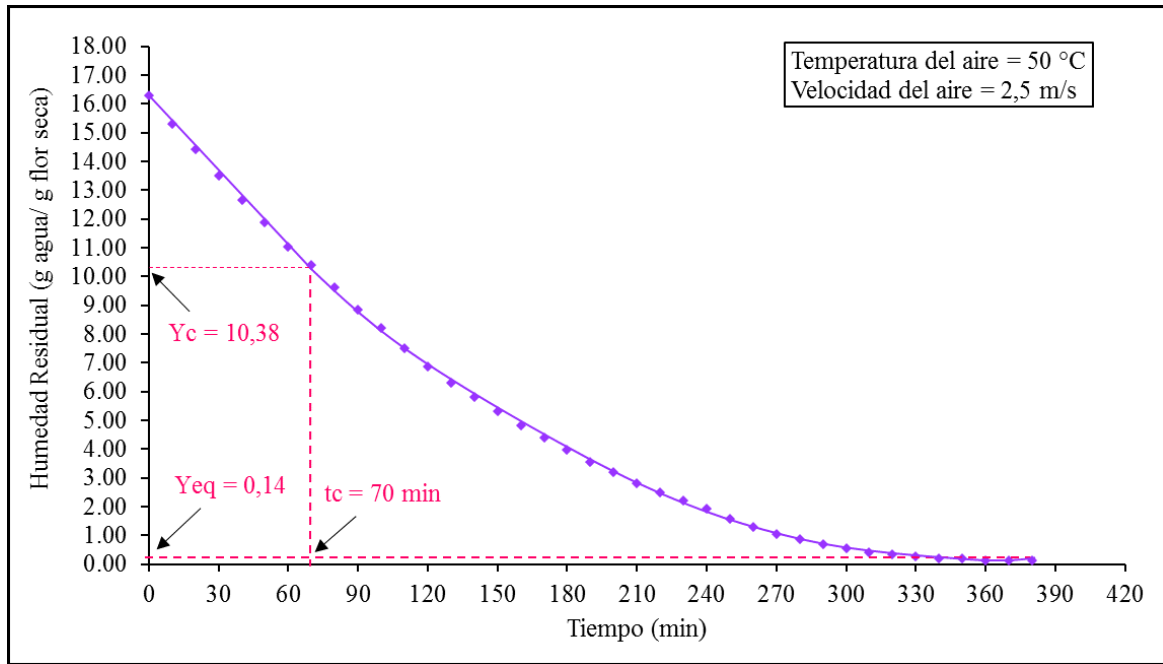


Figura 18. Humedad residual en función al tiempo ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $W_1 = 1,5\text{ m/s}$ )

**Análisis de regresión lineal con el SPSS. ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $W_1 = 1,5\text{ m/s}$ )**

Tabla 37

Resumen del modelo de regresión lineal ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $W_1 = 1,5\text{ m/s}$ ).

R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
0,999	0,998	0,997	0,109

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 38

Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $W_1 = 1,5\text{ m/s}$ ).

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>Regresión</b>	30,226	1	30,226	2522,931	0,000
<b>Residuo</b>	0,072	6	0,012		
<b>Total</b>	30,298	7			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 39

Coefficiente de la ecuación lineal ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $W_1 = 1,5\text{ m/s}$ ).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Desv. Error	Beta		
Tiempo	-0,085	0,002	-0,999	-50,229	0,000
(Constante)	16,159	0,071		228,710	0,000

La ecuación de la línea recta será de la forma:  $y = -0,085x + 16,159$

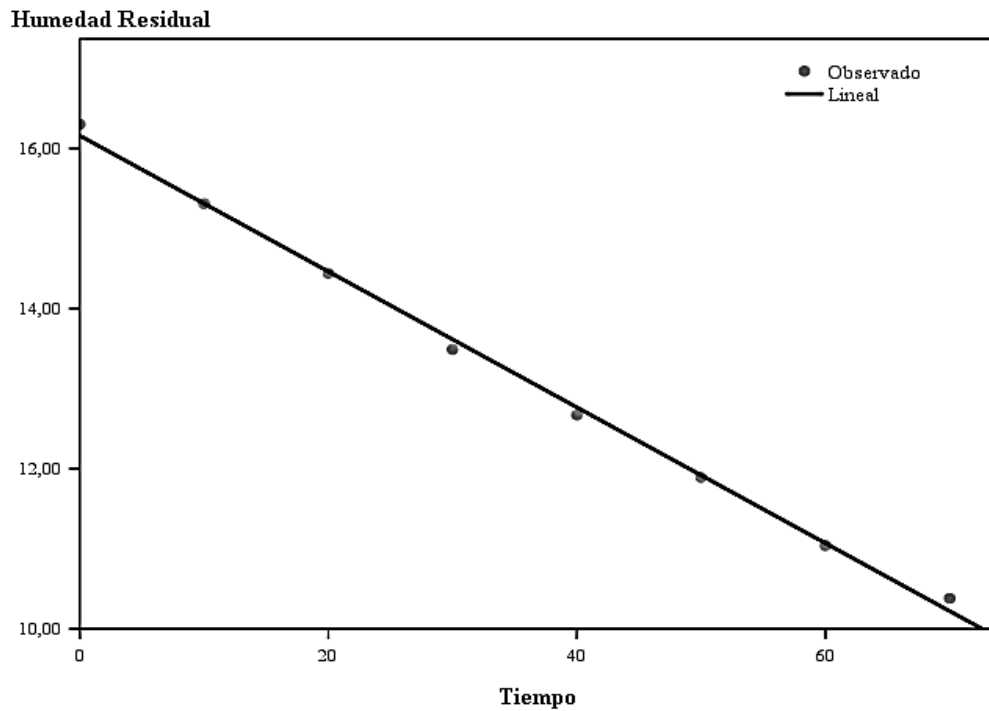


Figura 19. Representación de los datos experimentales (●) y de la línea recta (—) generada por el SPSS. ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $W_2 = 1,5\text{ m/s}$ )

**Análisis de regresión logarítmica con el SPSS (T2 = 50 °C; W1 = 1,5 m/s).**

*Tabla 40*

*Resumen del modelo de regresión logarítmica (T2 = 50 °C; W1 = 1,5 m/s).*

<b>R</b>	<b>R Cuadrado</b>	<b>R cuadrado ajustado</b>	<b>Error estándar de la estimación</b>
0,993	0,987	0,986	0,343

La variable independiente es Tiempo.

*Tabla 41*

*Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión logarítmica (T2 = 50 °C; W1 = 1,5 m/s).*

	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
<b>Regresión</b>	256,103	1	256,103	2172,022	0,000
<b>Residuo</b>	3,419	29	0,118		
<b>Total</b>	259,523	30			

La variable independiente es Tiempo.

*Tabla 42*

*Coefficientes de la ecuación logarítmica (T2 = 50 °C; W1 = 1,5 m/s).*

	<b>Coefficientes no estandarizados</b>		<b>Coefficientes estandarizados</b>	<b>t</b>	<b>Sig.</b>
	<b>B</b>	<b>Desv. Error</b>	<b>Beta</b>		
<b>ln(Tiempo)</b>	-6,498	0,139	-0,993	-46,605	0,000
<b>(Constante)</b>	37,851	0,748		50,574	0,000

La ecuación de la curva logarítmica será de la forma  $y = -6,498\ln(x) + 37,851$

*Tabla 43*

*Prueba t-Student para medias de dos muestras emparejadas*

	<b>t-Student</b>
P(T<=t) dos colas	0.98844468

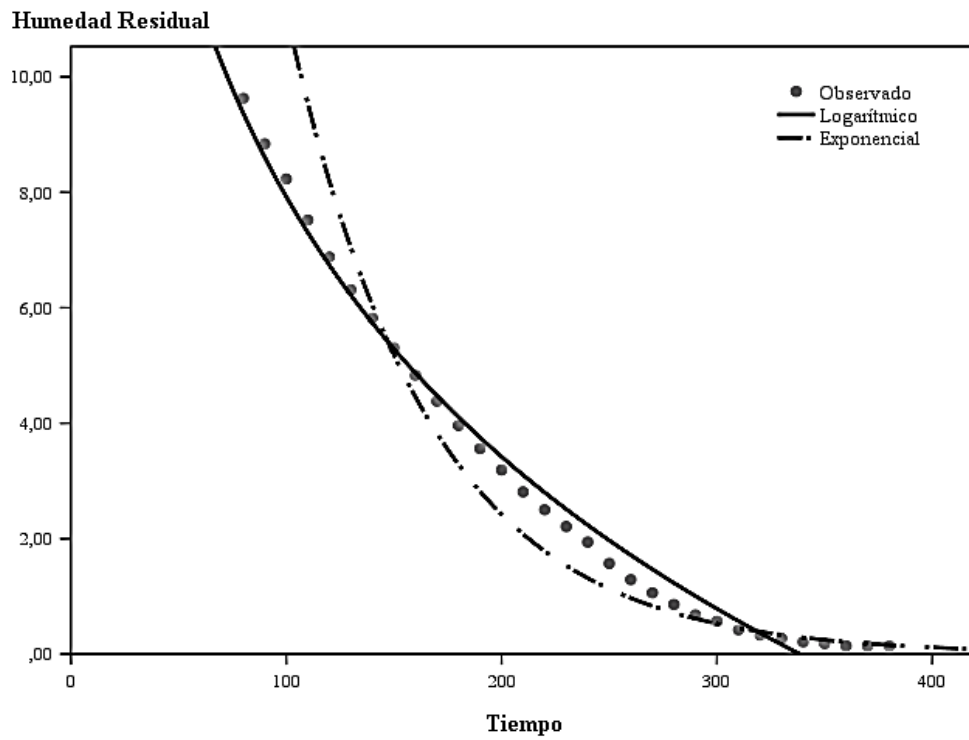


Figura 20. Representación de los datos experimentales (●), de la curva logarítmica (—) y de la curva exponencial (—●) generada por el SPSS. La curva logarítmica es la más representativa ( $T_2 = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $W_1 = 1,5\text{ m/s}$ )

Tabla 44

Datos experimentales del secado de la flor picada con  $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $W = 2.5\text{m/s}$ .

N°	T	P1	P2 = P1 - P	Y = (P2 - S)/S	dY/dt (g agua /g ss.min)	Ym (g agua/g flor seca)
	Tiempo (min)	Peso estructura + flor de plátano al tiempo t (g)	Peso de flor picada al tiempo (g)	humedad residual (g agua/g flor seca)		
1	0	2110.00	610.00	15.90	0.135	15.224
2	10	2061.40	561.40	14.55	0.125	13.925
3	20	2016.20	516.20	13.30	0.107	12.766
4	30	1977.70	477.70	12.23	0.091	11.776
5	40	1944.70	444.70	11.32	0.092	10.859
6	50	1911.50	411.50	10.40	0.090	9.949
7	60	1879.00	379.00	9.50	0.046	9.269
8	70	1862.40	362.40	9.04	0.074	8.669
9	80	1835.70	335.70	8.30	0.067	7.965
10	90	1811.60	311.60	7.63	0.074	7.262
11	100	1784.90	284.90	6.89	0.050	6.644
12	110	1767.00	267.00	6.40	0.051	6.141
13	120	1748.60	248.60	5.89	0.055	5.611
14	130	1728.70	228.70	5.34	0.048	5.093
15	140	1711.20	211.20	4.85	0.044	4.629
16	150	1695.20	195.20	4.41	0.041	4.202
17	160	1680.40	180.40	4.00	0.037	3.813
18	170	1667.10	167.10	3.63	0.042	3.418
19	180	1651.90	151.90	3.21	0.029	3.062
20	190	1641.40	141.40	2.92	0.034	2.749
21	200	1629.30	129.30	2.58	0.030	2.429
22	210	1618.30	118.30	2.28	0.029	2.133
23	220	1607.90	107.90	1.99	0.028	1.848
24	230	1597.70	97.70	1.71	0.026	1.575
25	240	1588.20	88.20	1.44	0.021	1.337
26	250	1580.50	80.50	1.23	0.022	1.118
27	260	1572.40	72.40	1.01	0.022	0.895
28	270	1564.40	64.40	0.78	0.022	0.675
29	280	1556.50	56.50	0.57	0.019	0.472
30	290	1549.80	49.80	0.38	0.011	0.327
31	300	1546.00	46.00	0.27	0.003	0.258
32	310	1544.80	44.80	0.24	0.005	0.215
33	320	1542.90	42.90	0.19	0.004	0.166
34	330	1541.30	41.30	0.14	0.001	0.140
35	340	1541.00	41.00	0.14	0.014	0.068

P = 1500g (Peso de la estructura interna del secador); S = 36.10g (Peso de la flor seca)



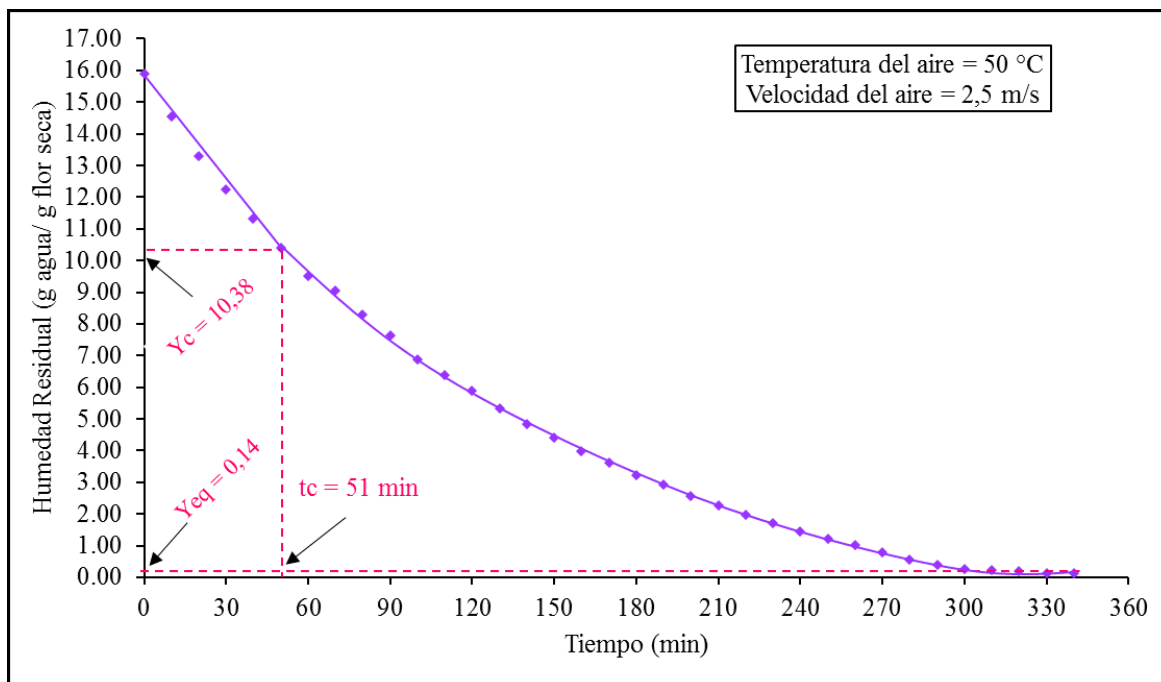


Figura 21. Humedad residual en función al tiempo ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $W_2 = 2,5\text{ m/s}$ )

**Análisis de regresión lineal con el SPSS. ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $W_2 = 2,5\text{ m/s}$ )**

Tabla 45

Resumen del modelo de regresión lineal ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $W_2 = 2,5\text{ m/s}$ ).

<b>R</b>	<b>R Cuadrado</b>	<b>R cuadrado Ajustado</b>	<b>Error estándar de la estimación</b>
0,996	0,993	0,991	0,194

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 46

Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $W_2 = 2,5\text{ m/s}$ ).

	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
<b>Regresión</b>	20,912	1	20,912	554,039	0,000
<b>Residuo</b>	0,151	4	0,038		
<b>Total</b>	21,063	5			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 47

Coefficiente de la ecuación lineal ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $W_1 = 1,5\text{ m/s}$ ).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Desv. Error	Beta		
Tiempo	-0,109	0,005	-0,996	-23,538	0,000
(Constante)	15,683	0,141		111,535	0,000

La ecuación de la línea recta será de la forma:  $y = -0,109x + 15,683$

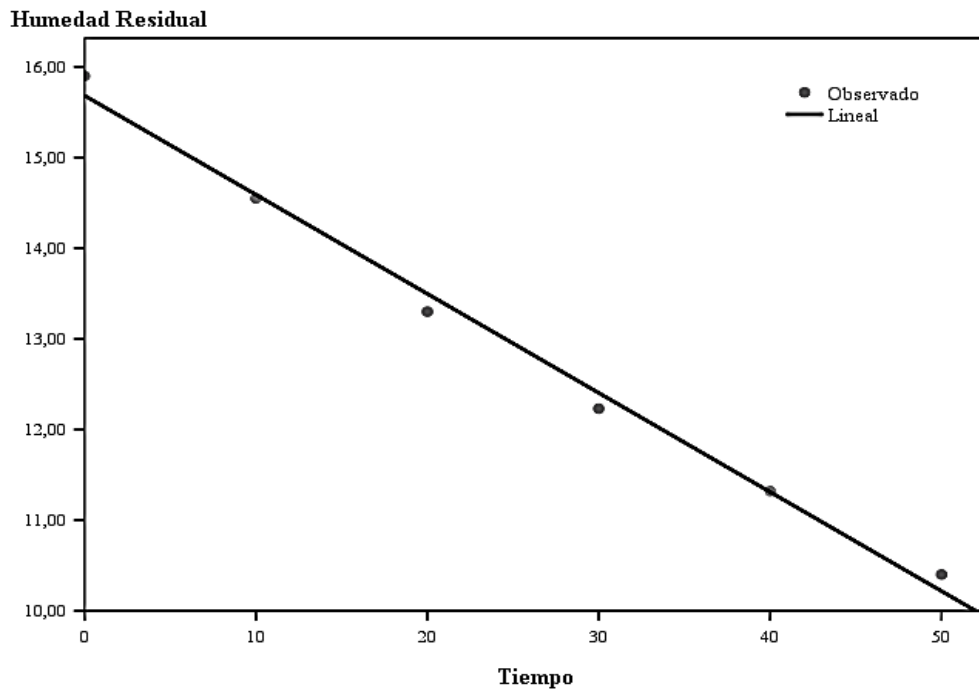


Figura 22. Representación de los datos experimentales (●) y de la línea recta (—) generada por el SPSS. ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $W_2 = 2,5\text{ m/s}$ )

**Análisis de regresión logarítmica con el SPSS (T2 = 50 °C; W2 = 2,5 m/s).**

*Tabla 48*

*Resumen del modelo de regresión logarítmica (T2 = 50 °C; W2 = 2,5 m/s).*

<b>R</b>	<b>R Cuadrado</b>	<b>R cuadrado ajustado</b>	<b>Error estándar de la estimación</b>
0,998	0,996	0,995	0,200

La variable independiente es Tiempo.

*Tabla 49*

*Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión logarítmica (T2 = 50 °C; W2 = 2,5 m/s).*

	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
<b>Regresión</b>	241,064	1	241,064	6023,317	0,000
<b>Residuo</b>	1,081	27	0,040		
<b>Total</b>	242,145	28			

La variable independiente es Tiempo.

*Tabla 50*

*Coefficientes de la ecuación logarítmica (T2 = 50 °C; W2 = 2,5 m/s).*

	<b>Coefficientes no estandarizados</b>		<b>Coefficientes estandarizados</b>	<b>t</b>	<b>Sig.</b>
	<b>B</b>	<b>Desv. Error</b>	<b>Beta</b>		
<b>ln(Tiempo)</b>	-5,902	0,076	-0,998	-77,610	0,000
<b>(Constante)</b>	33,989	0,397		85,699	0,000

La ecuación de la curva logarítmica será de la forma  $y = -5,902\ln(x) + 33,989$

*Tabla 51*

*Prueba t-Student para medias de dos muestras emparejadas*

	<b>t-Student</b>
P(T<=t) dos colas	0.89746208

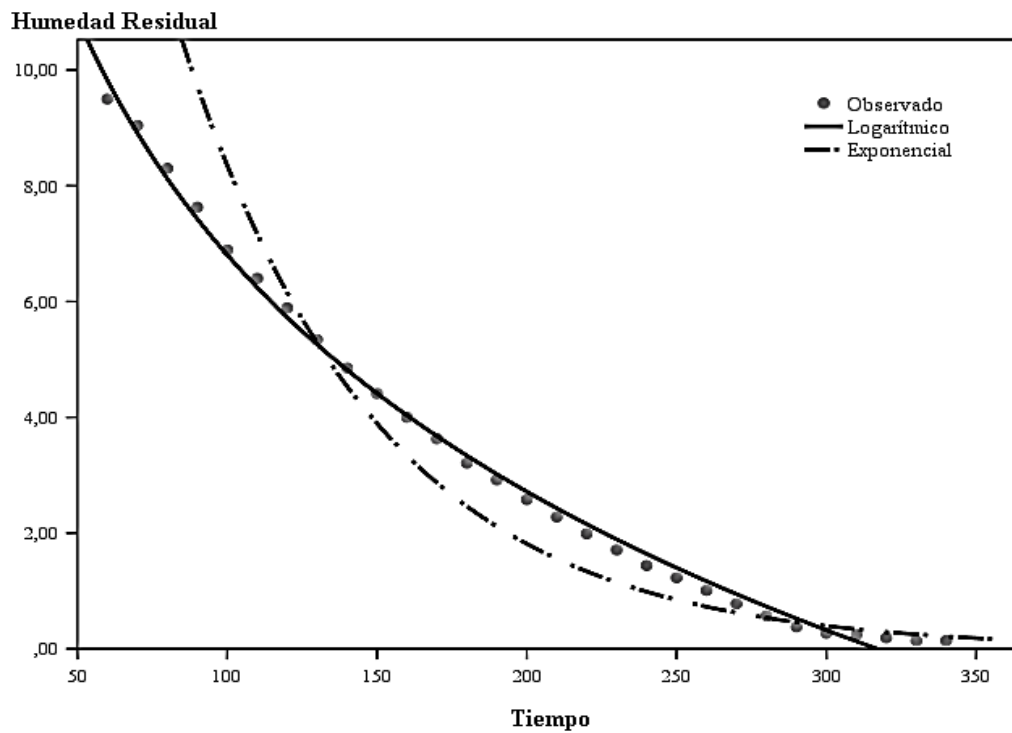


Figura 23. Representación de los datos experimentales (●), de la curva logarítmica (—) y de la curva exponencial (—●) generada por el SPSS. La curva logarítmica es la más representativa ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $W_2 = 2,5\text{ m/s}$ )

Tabla 52

Datos experimentales del secado de la flor picada con  $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $W = 3,5\text{ m/s}$ .

N°	Tiempo (min)	Peso estructura + flor de plátano al tiempo t (g)	Peso de flor picada al tiempo (g)	humedad residual (g agua/g flor seca)	dY/dt (g agua /g ss.min)	Ym (g agua/g flor seca)
1	0	2110.00	610.00	15.51	0.124	14.886
2	10	2064.00	564.00	14.26	0.112	13.706
3	20	2022.80	522.80	13.15	0.115	12.572
4	30	1980.20	480.20	12.00	0.096	11.517
5	40	1944.80	444.80	11.04	0.146	10.310
6	50	1891.00	391.00	9.58	0.087	9.145
7	60	1858.70	358.70	8.71	0.081	8.304
8	70	1828.90	328.90	7.90	0.084	7.483
9	80	1798.00	298.00	7.06	0.073	6.700
10	90	1771.00	271.00	6.33	0.069	5.989
11	100	1745.50	245.50	5.64	0.064	5.322
12	110	1721.70	221.70	5.00	0.069	4.655
13	120	1696.20	196.20	4.31	0.044	4.088
14	130	1679.80	179.80	3.87	0.049	3.620
15	140	1661.60	161.60	3.37	0.045	3.149
16	150	1645.00	145.00	2.92	0.041	2.721
17	160	1630.00	130.00	2.52	0.036	2.340
18	170	1616.80	116.80	2.16	0.031	2.004
19	180	1605.20	105.20	1.85	0.033	1.682
20	190	1593.00	93.00	1.52	0.029	1.371
21	200	1582.20	82.20	1.22	0.024	1.103
22	210	1573.20	73.20	0.98	0.021	0.876
23	220	1565.40	65.40	0.77	0.017	0.686
24	230	1559.20	59.20	0.60	0.012	0.541
25	240	1554.70	54.70	0.48	0.010	0.430
26	250	1551.00	51.00	0.38	0.006	0.352
27	260	1548.90	48.90	0.32	0.006	0.292
28	270	1546.60	46.60	0.26	0.004	0.240
29	280	1545.00	45.00	0.22	0.002	0.207
30	290	1544.20	44.20	0.20	0.003	0.181
31	300	1543.10	43.10	0.17	0.003	0.152
32	310	1542.00	42.00	0.14	0.014	0.068

P = 1500 g (Peso de la estructura interna del secador); S = 36.95 g (Peso de la flor seca)

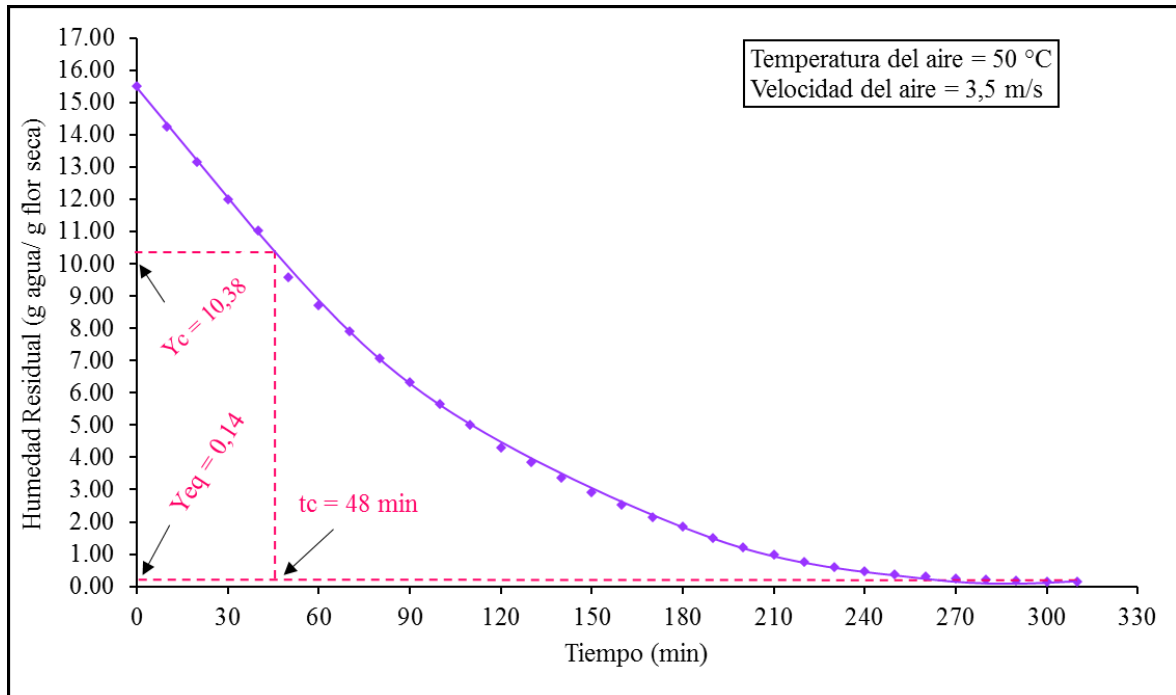


Figura 24. Humedad residual en función al tiempo ( $T_2 = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $W_3 = 3,5\text{ m/s}$ )

#### Análisis de regresión lineal con SPSS ( $T_2 = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $W_3 = 3,5\text{ m/s}$ )

Tabla 53

Resumen del modelo de regresión lineal ( $T_2 = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $W_3 = 3,5\text{ m/s}$ )

R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
0,999	0,998	0,998	0,088

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 54

Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal ( $T_2 = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $W_3 = 3,5\text{ m/s}$ ).

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>Regresión</b>	12,544	1	12,544	1602,726	0,000
<b>Residuo</b>	0,023	3	0,008		
<b>Total</b>	12,567	4			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 55

Coefficientes de la ecuación lineal ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $W_3 = 3,5\text{ m/s}$ ).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Desv. Error	Beta		
<b>Tiempo</b>	-0,112	0,003	-0,999	-40,034	0,000
<b>(Constante)</b>	15,432	0,069		225,195	0,000

La ecuación de la línea recta será de la forma:  $y = -0,112x + 15,432$

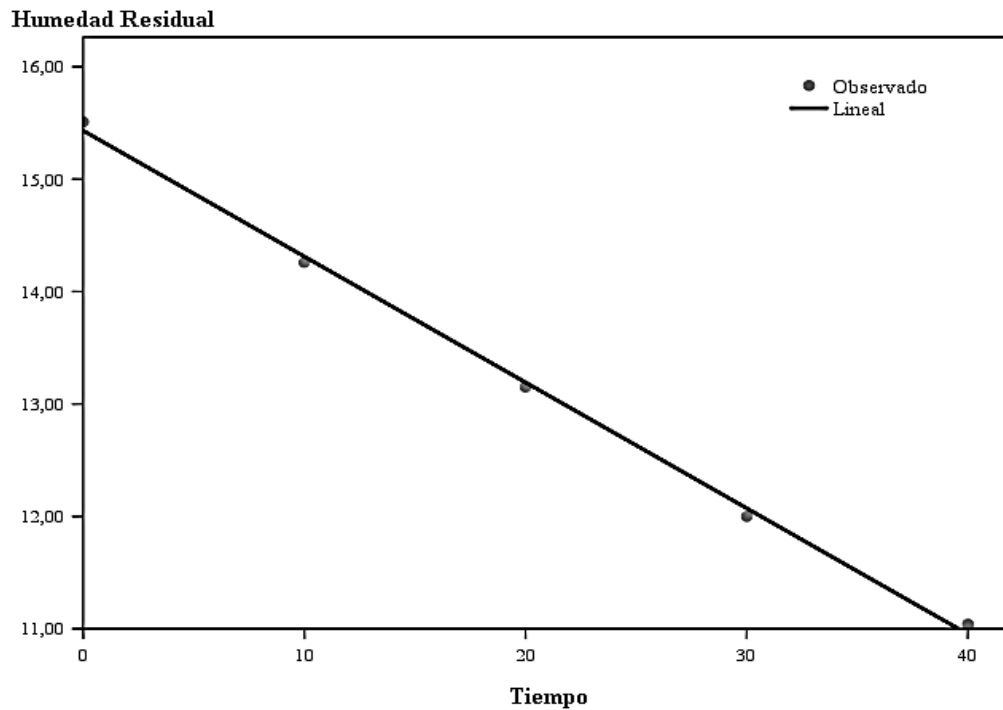


Figura 25. Representación de los datos experimentales (●) y de la línea recta (—) generada por el SPSS. ( $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $W_3 = 3,5\text{ m/s}$ )

**Análisis de regresión exponencial con SPSS (T2 = 50 °C, W3 = 3,5 m/s).**

*Tabla 56*

*Resumen del modelo de regresión exponencial (T2 = 50 °C, W3 = 3,5 m/s).*

<b>R</b>	<b>R Cuadrado</b>	<b>R cuadrado ajustado</b>	<b>Error estándar de la estimación</b>
0,993	0,986	0,985	0,168

La variable independiente es Tiempo.

*Tabla 57*

*Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial (T2 = 50 °C, W3 = 3,5 m/s).*

	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
<b>Regresión</b>	48,033	1	48,033	1700,834	0,000
<b>Residuo</b>	0,706	25	0,028		
<b>Total</b>	48,739	26			

La variable independiente es Tiempo.

*Tabla 58*

*Coefficientes de la ecuación exponencial (T2 = 50 °C, W3 = 3,5 m/s).*

	<b>Coefficientes no estandarizados</b>		<b>Coefficientes estandarizados</b>	<b>t</b>	<b>Sig.</b>
	<b>B</b>	<b>Desv. Error</b>	<b>Beta</b>		
<b>Tiempo</b>	-0,017	0,000	-0,993	-41,241	0,000
<b>(Constante)</b>	31,372	2,555		12,279	0,000

La ecuación de la forma exponencial será de la forma:  $y = 31,372e^{(-0,017x)}$

*Tabla 59*

*Prueba t-Student para medias de dos muestras emparejadas*

	<b>t-Student</b>
P(T<=t) dos colas	0.22002114



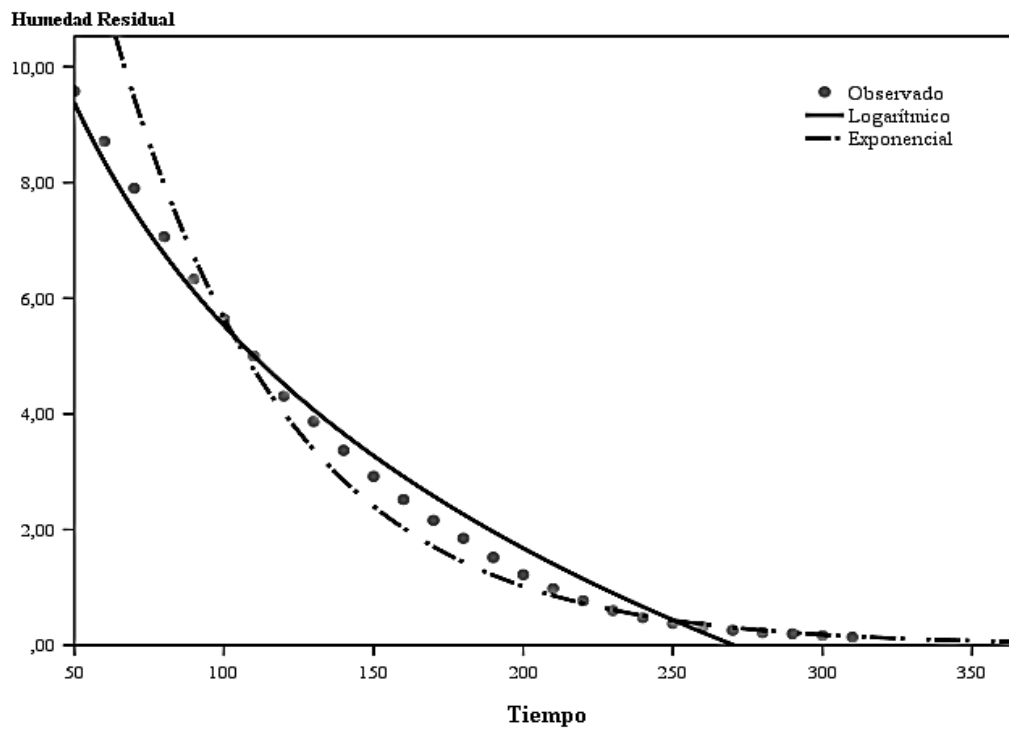


Figura 26. Representación de los datos experimentales (●), de la curva logarítmica (—) y de la curva exponencial (—●) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa ( $T_2 = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $W_3 = 3,5\text{ m/s}$ )

Anexo 3. Resultados de secado de la flor de plátano picada, realizadas a una temperatura de 55 °C y velocidades de 1,5; 2,5 y 3,5 m/s.

Tabla 60

Datos experimentales del secado de la flor picada con  $T = 55\text{ °C}$  y  $W = 1,5\text{ m/s}$ .

N°	T	P1	P2 = P1 - P	Y = (P2 - S)/S	dY/dt (g agua /g ss.min)	Ym (g agua/g flor seca)
	Tiempo (min)	Peso estructura + flor de plátano al tiempo t (g)	Peso de flor picada al tiempo (g)	humedad residual (g agua/g flor seca)		
1	0	2110.00	610.00	16.43	0.121	15.821
2	10	2067.50	567.50	15.21	0.095	14.737
3	20	2034.10	534.10	14.26	0.112	13.701
4	30	1995.00	495.00	13.14	0.090	12.694
5	40	1963.60	463.60	12.25	0.089	11.800
6	50	1932.40	432.40	11.35	0.089	10.911
7	60	1901.40	401.40	10.47	0.075	10.091
8	70	1875.00	375.00	9.71	0.079	9.317
9	80	1847.20	347.20	8.92	0.060	8.621
10	90	1826.30	326.30	8.32	0.084	7.903
11	100	1796.90	296.90	7.48	0.061	7.177
12	110	1775.50	275.50	6.87	0.053	6.609
13	120	1757.10	257.10	6.35	0.065	6.021
14	130	1734.40	234.40	5.70	0.063	5.383
15	140	1712.40	212.40	5.07	0.058	4.777
16	150	1692.00	192.00	4.49	0.055	4.209
17	160	1672.60	172.60	3.93	0.041	3.724
18	170	1658.10	158.10	3.52	0.047	3.281
19	180	1641.60	141.60	3.05	0.038	2.854
20	190	1628.20	128.20	2.66	0.032	2.501
21	200	1616.90	116.90	2.34	0.030	2.189
22	210	1606.30	106.30	2.04	0.027	1.904
23	220	1597.00	97.00	1.77	0.031	1.614
24	230	1586.00	86.00	1.46	0.025	1.330
25	240	1577.10	77.10	1.20	0.013	1.139
26	250	1572.60	72.60	1.07	0.013	1.009
27	260	1568.00	68.00	0.94	0.017	0.857
28	270	1562.00	62.00	0.77	0.015	0.699
29	280	1556.90	56.90	0.63	0.009	0.580
30	290	1553.70	53.70	0.53	0.012	0.476
31	300	1549.60	49.60	0.42	0.006	0.387
32	310	1547.50	47.50	0.36	0.005	0.334
33	320	1545.90	45.90	0.31	0.003	0.294
34	330	1544.70	44.70	0.28	0.005	0.253
35	340	1543.00	43.00	0.23	0.005	0.206
36	350	1541.40	41.40	0.18	0.004	0.163
37	360	1540.00	40.00	0.14	0.000	0.143
38	370	1540.00	40.00	0.14	0.014	0.071

P = 1500g (Peso de la estructura interna del secador); S = 35g (Peso de la flor seca)

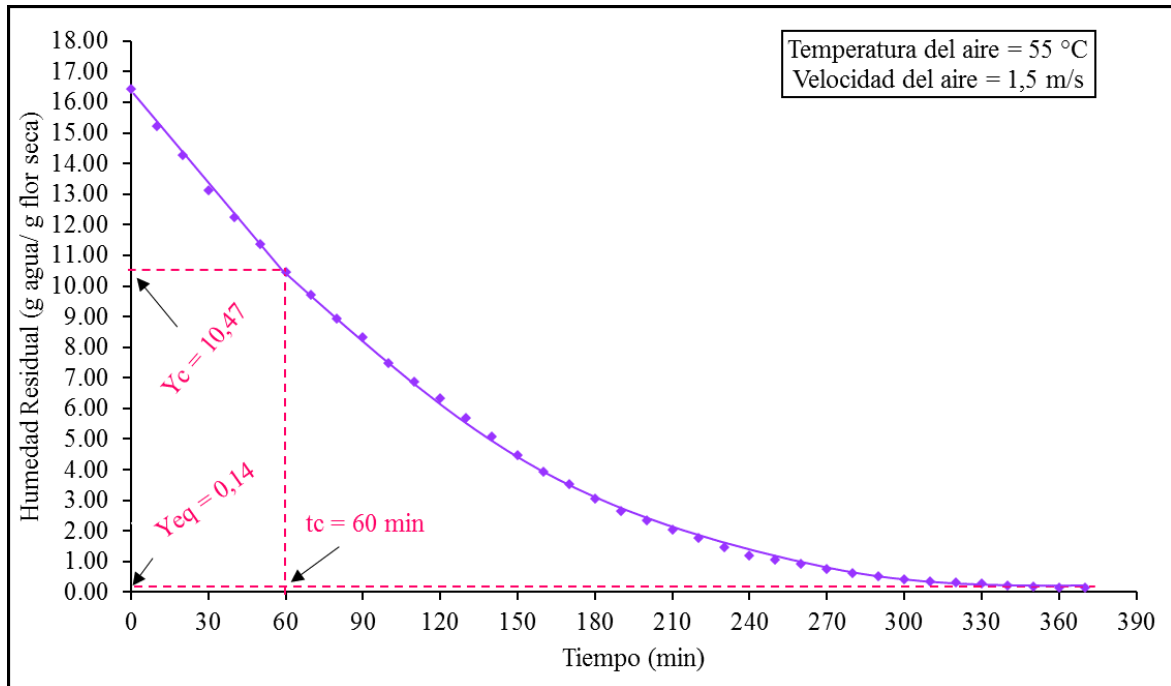


Figura 27. Humedad residual en función del tiempo  $T3 = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $W1 = 1,5\text{ m/s}$

**Análisis de regresión lineal con SPSS ( $T3 = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $W1 = 1,5\text{ m/s}$ )**

Tabla 61

Resumen del modelo de regresión lineal ( $T3 = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $W1 = 1,5\text{ m/s}$ )

R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
0,999	0,997	0,996	0,127

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 62

Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal ( $T3 = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $W1 = 1,5\text{ m/s}$ ).

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>Regresión</b>	27,225	1	27,225	1687,801	0,000
<b>Residuo</b>	0,081	5	0,016		
<b>Total</b>	27,306	6			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 63

Coefficientes de la ecuación lineal ( $T3 = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $W1 = 1,5\text{ m/s}$ ).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Desv. Error	Beta		
<b>Tiempo</b>	-0,099	0,002	-0,999	-41,083	0,000
<b>(Constante)</b>	16,260	0,087		187,885	0,000

La ecuación de la línea recta será de la forma:  $y = -0,099x + 16,260$

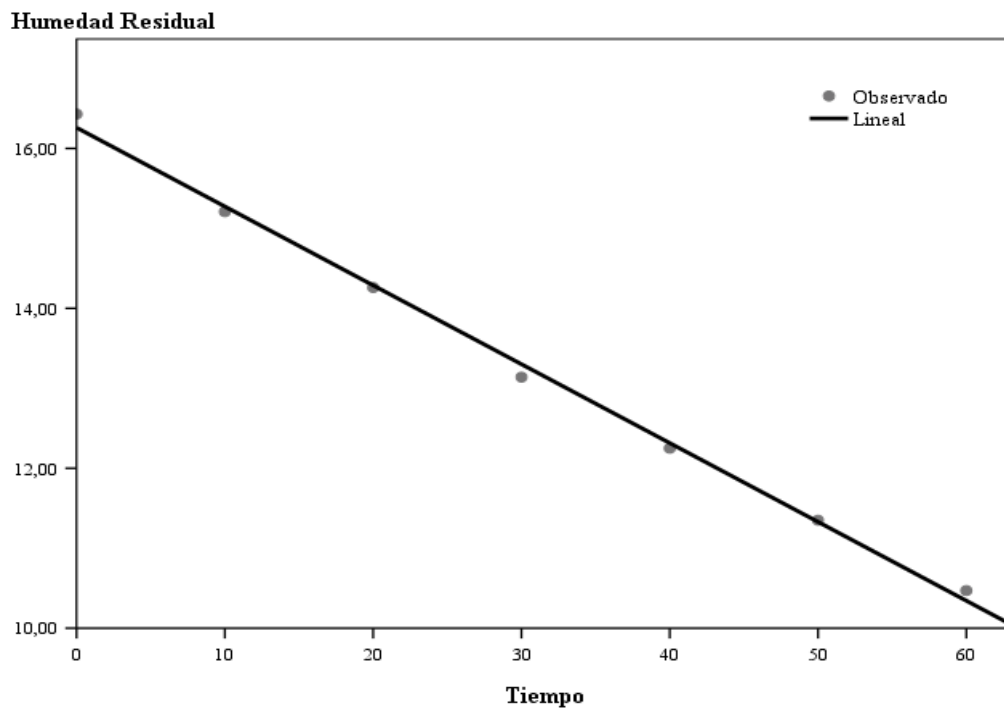


Figura 28. Representación de los datos experimentales (●) y de la línea recta (—) generada por el SPSS. ( $T3 = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $W1 = 1,5\text{ m/s}$ )

**Análisis de regresión exponencial con SPSS (T3 = 55 °C, W1 = 1,5 m/s).**

Tabla 64

Resumen del modelo de regresión exponencial (T3 = 55 °C, W1 = 1,5 m/s).

<b>R</b>	<b>R cuadrado</b>	<b>R cuadrado ajustado</b>	<b>Error estándar de la estimación</b>
0,994	0,988	0,988	0,149

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 65

Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial (T3 = 55 °C, W1 = 1,5 m/s).

	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
<b>Regresión</b>	54,074	1	54,074	2422,123	0,000
<b>Residuo</b>	0,647	29	0,022		
<b>Total</b>	54,722	30			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 66

Coefficientes de la ecuación exponencial (T3 = 55 °C, W1 = 1,5 m/s).

	<b>Coefficientes no estandarizados</b>		<b>Coefficientes estandarizados</b>	<b>t</b>	<b>Sig.</b>
	<b>B</b>	<b>Desv. Error</b>	<b>Beta</b>		
<b>Tiempo</b>	-0,015	0,000	-0,994	-49,215	0,000
<b>(Constante)</b>	37,740	2,689		14,034	0,000

La ecuación de la forma exponencial será de la forma:  $y = 37,740e^{(-0,015x)}$

Tabla 67

Prueba t-Student para medias de dos muestras emparejadas

	<i>t-Student</i>
P(T<=t) dos colas	0.55382161

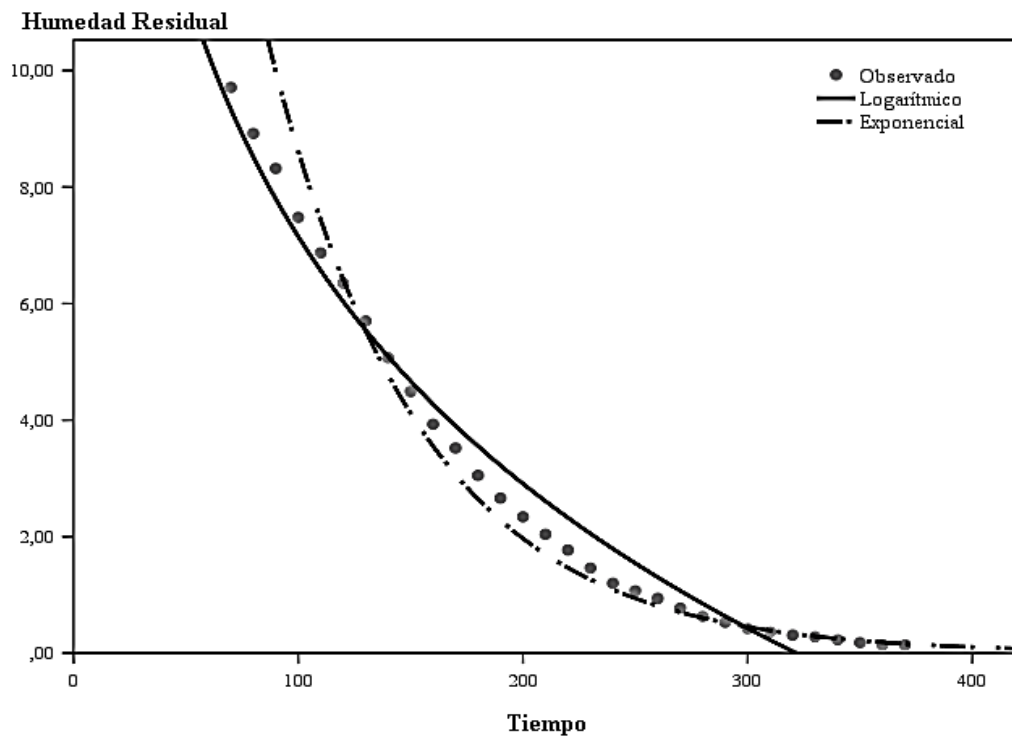


Figura 29. Representación de los datos experimentales (●), de la curva logarítmica (—) y de la curva exponencial (—●) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa ( $T3 = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $W1 = 1,5\text{ m/s}$ )

Tabla 68

Datos experimentales del secado de la flor picada con  $T = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $W = 2,5\text{ m/s}$

N°	T	P1	P2 = P1 - P	Y = (P2 - S)/S	dY/dt (g agua /g ss.min)	Ym (g agua/g flor seca)
	Tiempo (min)	Peso estructura + flor de plátano al tiempo t (g)	Peso de flor picada al tiempo (g)	humedad residual (g agua/g flor seca)		
1	0	2110.00	610.00	15.60	0.133	14.936
2	10	2061.00	561.00	14.27	0.109	13.722
3	20	2020.80	520.80	13.18	0.104	12.655
4	30	1982.60	482.60	12.14	0.108	11.597
5	40	1943.00	443.00	11.06	0.090	10.610
6	50	1910.10	410.10	10.16	0.127	9.528
7	60	1863.50	363.50	8.89	0.062	8.586
8	70	1840.90	340.90	8.28	0.096	7.801
9	80	1805.80	305.80	7.32	0.036	7.141
10	90	1792.40	292.40	6.96	0.067	6.622
11	100	1767.70	267.70	6.29	0.056	6.006
12	110	1747.10	247.10	5.73	0.054	5.453
13	120	1727.10	227.10	5.18	0.050	4.932
14	130	1708.80	208.80	4.68	0.043	4.470
15	140	1693.10	193.10	4.26	0.044	4.037
16	150	1677.00	177.00	3.82	0.039	3.620
17	160	1662.50	162.50	3.42	0.037	3.239
18	170	1649.00	149.00	3.06	0.032	2.898
19	180	1637.40	137.40	2.74	0.033	2.574
20	190	1625.20	125.20	2.41	0.027	2.272
21	200	1615.20	115.20	2.14	0.030	1.987
22	210	1604.30	104.30	1.84	0.027	1.704
23	220	1594.40	94.40	1.57	0.026	1.439
24	230	1584.80	84.80	1.31	0.022	1.197
25	240	1576.60	76.60	1.08	0.020	0.983
26	250	1569.10	69.10	0.88	0.016	0.800
27	260	1563.20	63.20	0.72	0.017	0.636
28	270	1557.00	57.00	0.55	0.011	0.496
29	280	1552.90	52.90	0.44	0.009	0.395
30	290	1549.60	49.60	0.35	0.008	0.311
31	300	1546.70	46.70	0.27	0.006	0.241
32	310	1544.50	44.50	0.21	0.004	0.189
33	320	1542.90	42.90	0.17	0.003	0.154
34	330	1541.90	41.90	0.14	0.000	0.140
35	340	1541.90	41.90	0.14	0.014	0.070

P = 1500g (Peso de la estructura interna del secador); S = 36,74g (Peso de la flor seca)

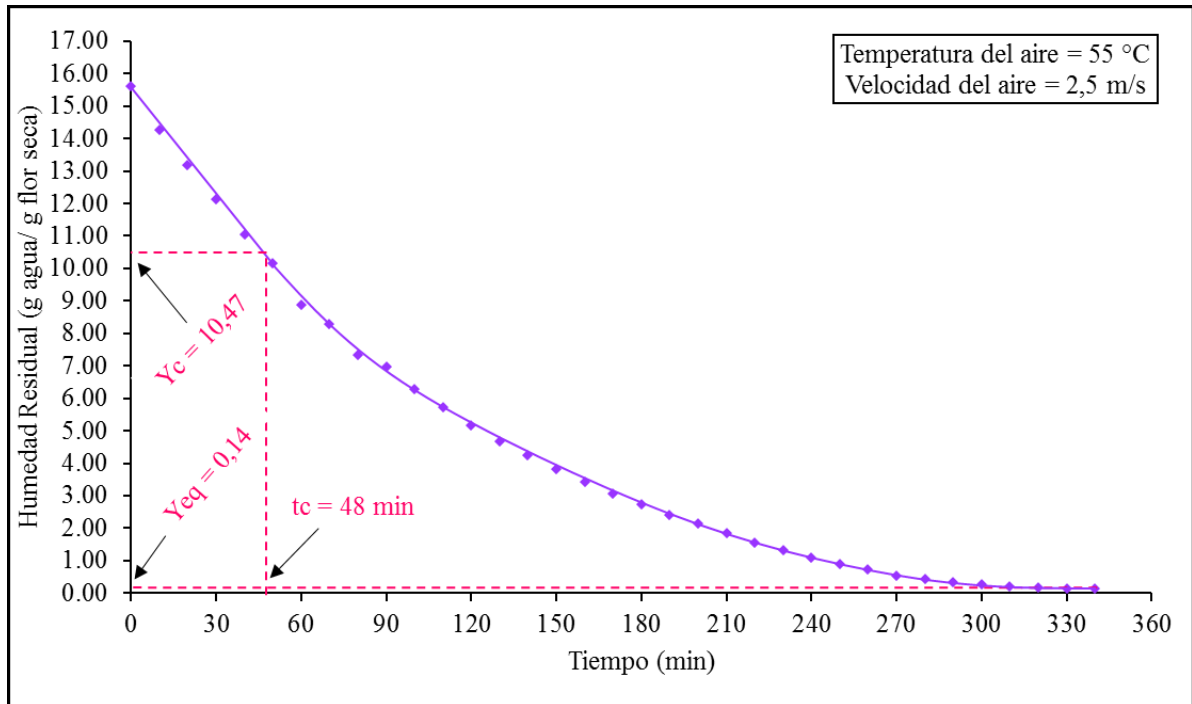


Figura 30. Humedad residual en función del tiempo  $T_3 = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $W_2 = 2,5\text{ m/s}$

**Análisis de regresión lineal con SPSS ( $T_3 = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $W_2 = 2,5\text{ m/s}$ )**

Tabla 69

Resumen del modelo de regresión lineal ( $T_3 = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $W_2 = 2,5\text{ m/s}$ )

R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
0,998	0,997	0,996	0,128

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 70

Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal ( $T_3 = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $W_2 = 2,5\text{ m/s}$ ).

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>Regresión</b>	20,488	1	20,488	1259,230	0,000
<b>Residuo</b>	0,065	4	0,016		
<b>Total</b>	20,553	5			

La variable independiente es Tiempo.



Tabla 71

Coefficientes de la ecuación lineal ( $T3 = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $W2 = 2,5\text{ m/s}$ ).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Desv. Error	Beta		
<b>Tiempo</b>	-0,108	0,003	-0,998	-35,486	0,000
<b>(Constante)</b>	15,440	0,092		167,250	0,000

La ecuación de la línea recta será de la forma:  $y = -0,108x + 15,440$

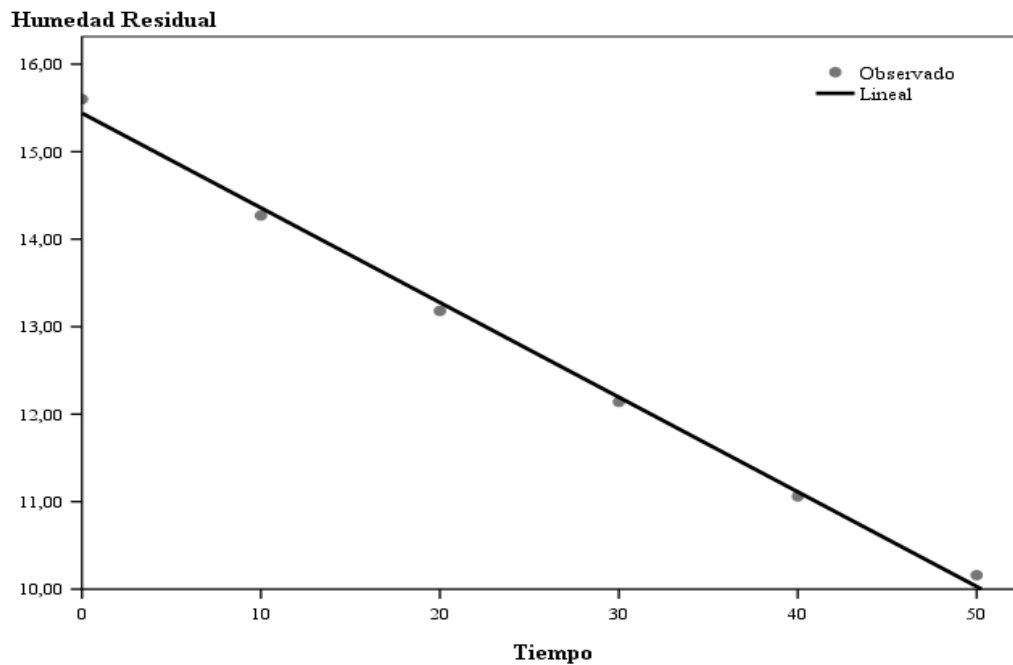


Figura 31. Representación de los datos experimentales (o) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. ( $T3 = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $W2 = 2,5\text{ m/s}$ )

**Análisis de regresión logarítmica con SPSS (T3 = 55 °C, W2 = 2,5 m/s).**

*Tabla 72*

*Resumen del modelo de regresión logarítmica (T3 = 55 °C, W2 = 2,5 m/s).*

<b>R</b>	<b>R cuadrado</b>	<b>R cuadrado ajustado</b>	<b>Error estándar de la estimación</b>
0,996	0,992	0,991	0,252

La variable independiente es Tiempo.

*Tabla 73*

*Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión logarítmica (T3 = 55 °C, W2 = 2,5 m/s).*

	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
<b>Regresión</b>	203,296	1	203,296	3199,556	0,000
<b>Residuo</b>	1,716	27	0,064		
<b>Total</b>	205,012	28			

La variable independiente es Tiempo.

*Tabla 74*

*Coefficientes de la ecuación logarítmica (T3 = 55 °C, W2 = 2,5 m/s).*

	<b>Coefficientes no estandarizados</b>		<b>Coefficientes estandarizados</b>	<b>t</b>	<b>Sig.</b>
	<b>B</b>	<b>Desv. Error</b>	<b>Beta</b>		
<b>ln(Tiempo)</b>	-5,420	0,096	-0,996	-56,565	0,000
<b>(Constante)</b>	31,069	0,500		62,171	0,000

La ecuación de la forma logarítmica será de la forma:  $y = -5,420\ln(x)+31,069$

*Tabla 75*

*Prueba t-Student para medias de dos muestras emparejadas*

	<b>t-Student</b>
<b>P(T&lt;=t) dos colas</b>	0.91595197

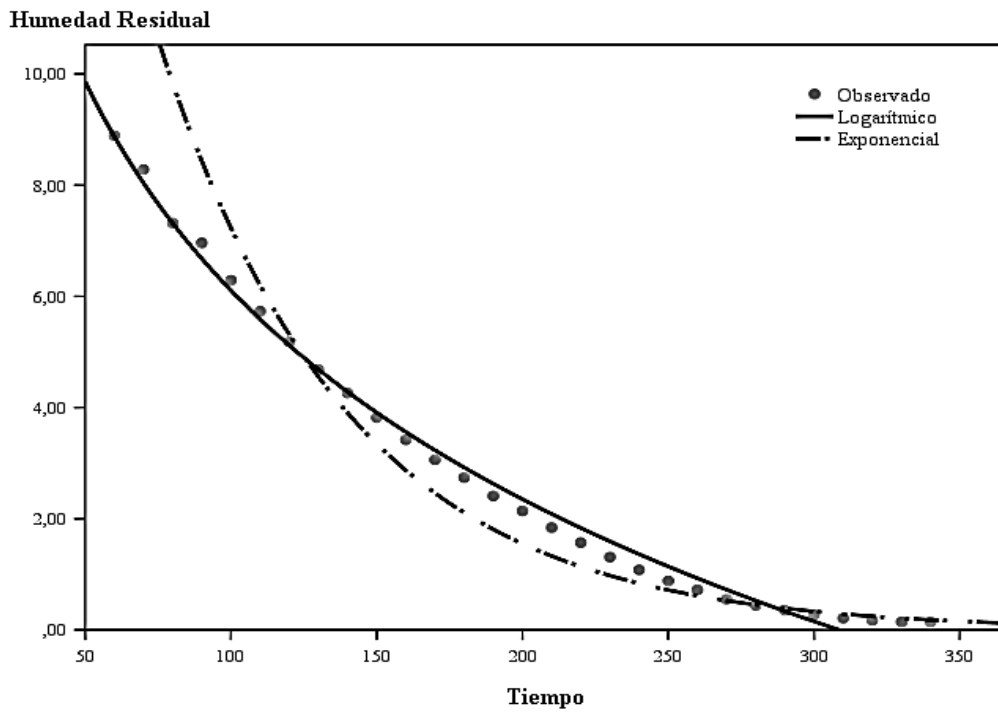


Figura 32. Representación de los datos experimentales (●), de la curva logarítmica (—) y de la curva exponencial (—●) generada por el SPSS. La curva logarítmica es la más representativa ( $T3 = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $W2 = 2,5\text{ m/s}$ )

Tabla 76

Datos experimentales del secado de la flor picada con  $T = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $W = 3.5\text{m/s}$ .

N°	T	P1	P2 = P1 - P	Y = (P2 - S)/S	dY/dt (g agua /g ss.min)	Ym (g agua/g flor seca)
	Tiempo (min)	Peso estructura + flor de plátano al tiempo t (g)	Peso de flor picada al tiempo (g)	humedad residual (g agua/g flor seca)		
1	0	2110.00	610.00	16.45	0.170	15.596
2	10	2050.40	550.40	14.74	0.149	13.999
3	20	1998.30	498.30	13.25	0.138	12.563
4	30	1950.00	450.00	11.87	0.119	11.277
5	40	1908.40	408.40	10.68	0.087	10.249
6	50	1878.10	378.10	9.82	0.094	9.343
7	60	1845.10	345.10	8.87	0.093	8.405
8	70	1812.50	312.50	7.94	0.074	7.567
9	80	1786.50	286.50	7.20	0.098	6.703
10	90	1752.10	252.10	6.21	0.081	5.808
11	100	1723.90	223.90	5.40	0.062	5.096
12	110	1702.30	202.30	4.79	0.073	4.422
13	120	1676.80	176.80	4.06	0.066	3.728
14	130	1653.80	153.80	3.40	0.057	3.115
15	140	1633.90	133.90	2.83	0.047	2.596
16	150	1617.50	117.50	2.36	0.042	2.152
17	160	1602.90	102.90	1.94	0.049	1.696
18	170	1585.60	85.60	1.45	0.036	1.270
19	180	1573.10	73.10	1.09	0.028	0.949
20	190	1563.20	63.20	0.81	0.023	0.695
21	200	1555.30	55.30	0.58	0.015	0.505
22	210	1549.90	49.90	0.43	0.011	0.374
23	220	1546.20	46.20	0.32	0.007	0.286
24	230	1543.70	43.70	0.25	0.003	0.233
25	240	1542.50	42.50	0.22	0.003	0.199
26	250	1541.30	41.30	0.18	0.004	0.163
27	260	1540.00	40.00	0.14	0.000	0.143
28	270	1539.90	39.90	0.14	0.014	0.071

P = 1500g (Peso de la estructura interna del secador); S = 34.96g (Peso de la flor seca)

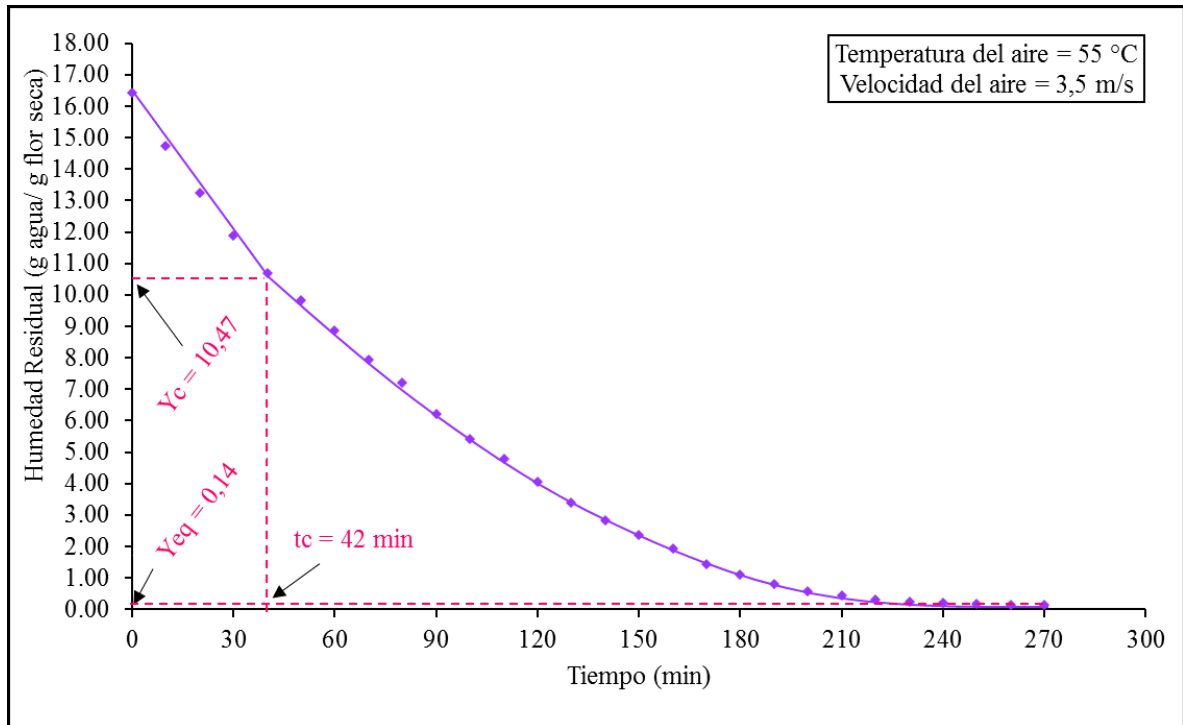


Figura 33. Humedad residual en función del tiempo  $T3 = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $W3 = 3,5\text{ m/s}$

**Análisis de regresión lineal con SPSS ( $T3 = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $W3 = 3,5\text{ m/s}$ )**

Tabla 77

Resumen del modelo de regresión lineal ( $T3 = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $W3 = 3,5\text{ m/s}$ )

<b>R</b>	<b>R cuadrado</b>	<b>R cuadrado ajustado</b>	<b>Error estándar de la estimación</b>
0,998	0,995	0,994	0,178

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 78

Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal ( $T3 = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $W3 = 3,5\text{ m/s}$ ).

	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
<b>Regresión</b>	20,765	1	20,765	655,248	0,000
<b>Residuo</b>	0,095	3	0,032		
<b>Total</b>	20,860	4			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 79

Coefficientes de la ecuación lineal ( $T3 = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $W3 = 3,5\text{ m/s}$ ).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Desv. Error	Beta		
Tiempo	-0,144	0,006	-0,998	-25,598	0,000
(Constante)	16,280	0,138		118,064	0,000

La ecuación de la línea recta será de la forma:  $y = -0,144x + 16,280$

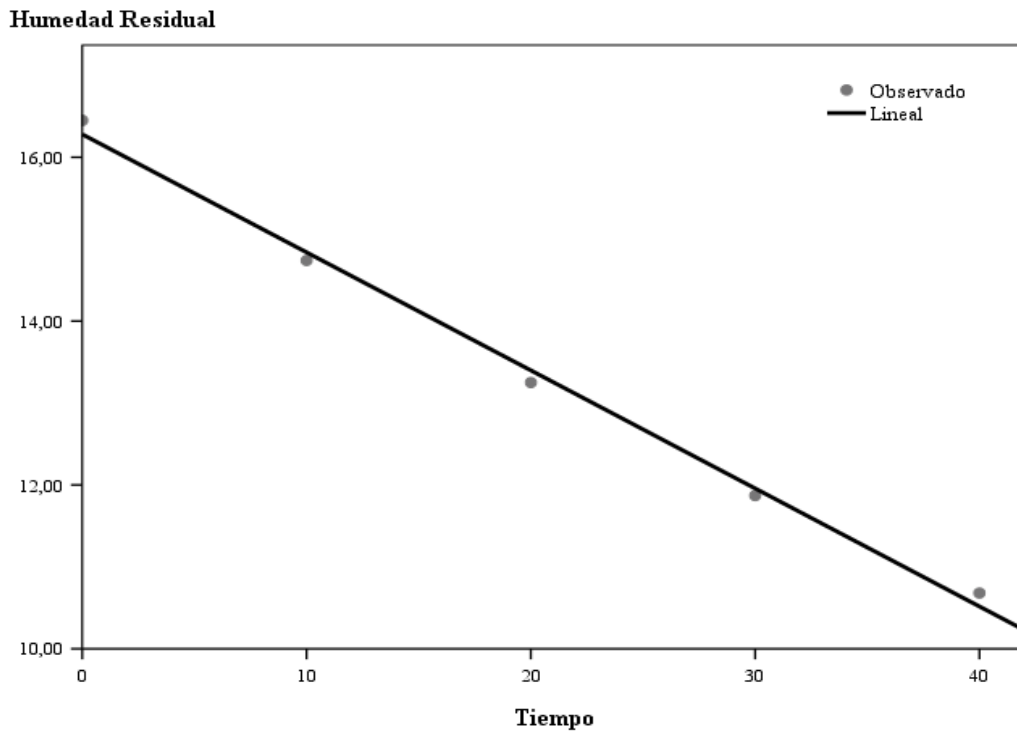


Figura 34. Representación de los datos experimentales (●) y de la línea recta (—) generada por el SPSS. ( $T3 = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $W3 = 3,5\text{ m/s}$ )

**Análisis de regresión logarítmica con el SPSS (T3 = 55 °C; W3 = 3,5 m/s).**

*Tabla 80*

*Resumen del modelo de regresión logarítmica (T3 = 55 °C, W3 = 3,5 m/s).*

<b>R</b>	<b>R cuadrado</b>	<b>R cuadrado ajustado</b>	<b>Error estándar de la estimación</b>
0,990	0,979	0,978	0,462

La variable independiente es Tiempo.

*Tabla 81*

*Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión logarítmica (T3 = 55 °C, W3 = 3,5 m/s).*

	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
<b>Regresión</b>	210,643	1	210,643	985,601	0,000
<b>Residuo</b>	4,488	21	0,214		
<b>Total</b>	215,131	22			

La variable independiente es Tiempo.

*Tabla 82*

*Coefficientes de la ecuación logarítmica (T3 = 55 °C, W3 = 3,5 m/s).*

	<b>Coefficientes no estandarizados</b>		<b>Coefficientes estandarizados</b>	<b>t</b>	<b>Sig.</b>
	<b>B</b>	<b>Desv. Error</b>	<b>Beta</b>		
<b>ln(Tiempo)</b>	-6,276	0,200	-0,990	-31,394	0,000
<b>(Constante)</b>	34,262	0,998		34,314	0,000

La ecuación de la curva logarítmica será de la forma  $y = -6,276\ln(x) + 34,262$

*Tabla 83*

*Prueba t-Student para medias de dos muestras emparejadas*

	<b>t-Student</b>
P(T<=t) dos colas	0.995845029

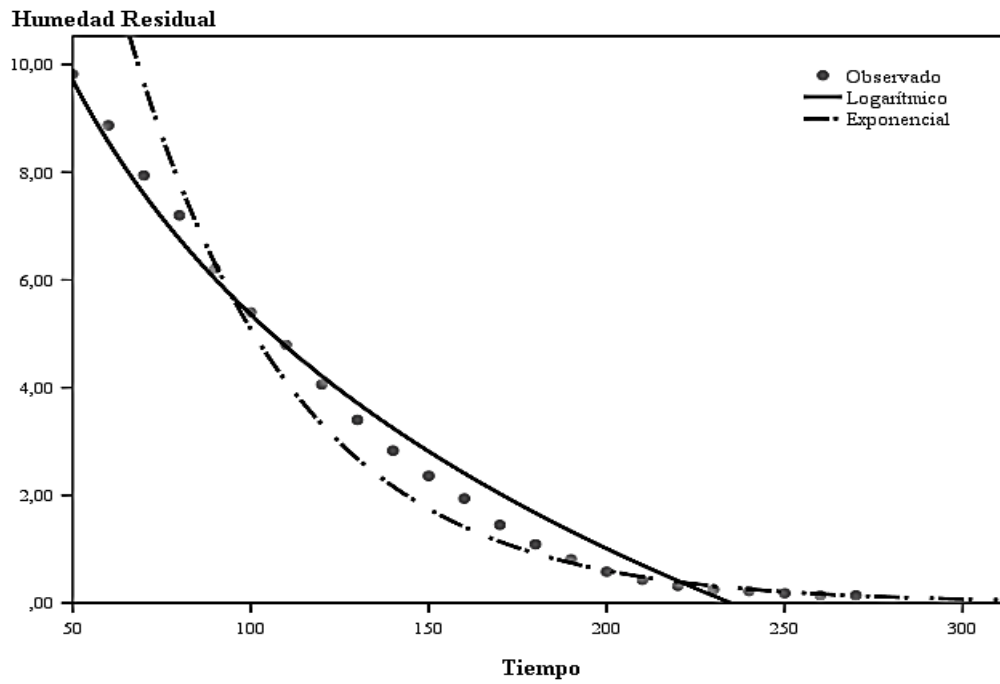


Figura 35. Representación de los datos experimentales (●), de la curva logarítmica (—) y de la curva exponencial (—●) generada por el SPSS. La curva logarítmica es la más representativa ( $T3 = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $W3 = 3,5\text{ m/s}$ )



*Anexo 4. Secuencia fotográfica del proceso de la flor de plátano*



*Figura 36. Recolección de la flor de plátano*



*Figura 37. Recepción de la materia prima*



*Figura 38. Pesado*



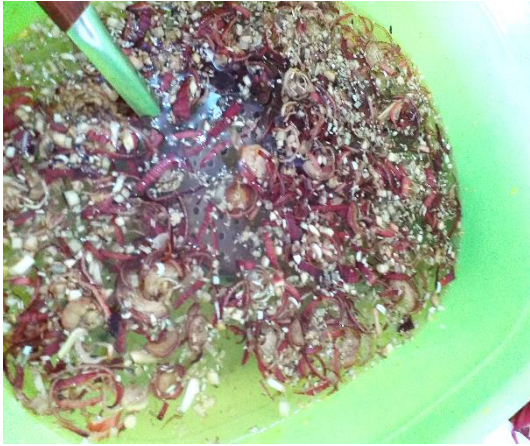
*Figura 39. Desprendimiento de las brácteas externas.*



*Figura 40. Lavado*



*Figura 41. Picado*



*Figura 42. Sumergido en agua*



*Figura 43. Precocción*



*Figura 44. Secador de bandejas*



*Figura 45. Anemómetro para medir la velocidad de aire*



*Figura 46. Secado*



*Figura 47. Flor de plátano seca*



*Figura 48. Determinación de la humedad de la flor seca (7.03%).*



*Figura 49. Molido*



*Figura 50. Apariencia después de pasar por la molienda*



*Figura 51. Tamizado*



*Figura 52. Harina de flor de plátano envasada*



Figura 53. Muestras de las harinas trabajadas a las 3 temperaturas de 45, 50, 55 °C a velocidad de 3,5m/s

Anexo 5. Secuencia fotográfica de los análisis realizados en el desarrollo de la investigación.

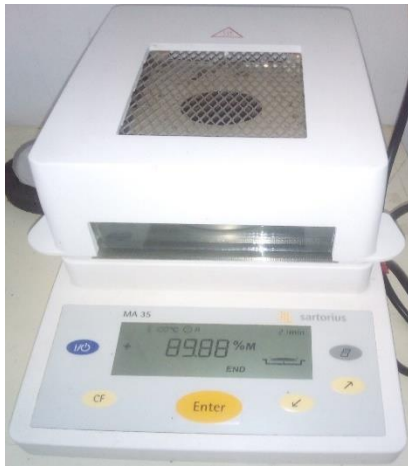


Figura 54. Determinación de humedad de la flor de plátano en estado natural (89.88%)



Figura 55. Determinación de pH de la flor de plátano en estado natural

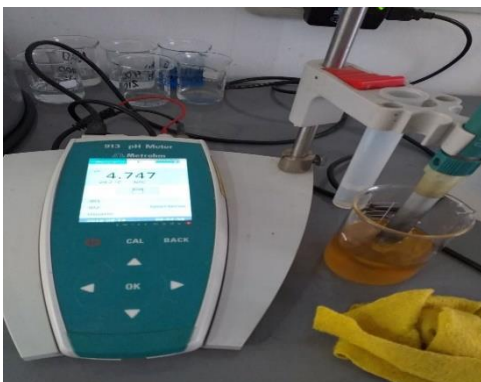


Figura 56. Determinación de pH de la harina de la flor de plátano.



Figura 57. Determinación de cenizas de la harina de la flor de plátano.