

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



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

**INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA Y LA VELOCIDAD DEL AIRE
SOBRE EL SECADO DEL HONGO *Suillus Luteus* PROVENIENTE
DE LUYA VIEJO, REGIÓN AMAZONAS.**

T E S I S
PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGROINDUSTRIAL

AUTORES:

Br. OROSCO TUESTA MARLITH

Br. ROJAS TRIGOSO KARIN GUADALUPE

ASESOR:

Dr. MIGUEL ANGEL BARRENA GURBILLÓN

CHACHAPOYAS - PERÚ

2 0 1 1

DEDICATORIA

A mis padres: Francisco Orosco y Ayde Tuesta, porque a pesar del sin fin de preocupaciones que les aquejan, han sido mi apoyo y palabra de aliento que siempre he necesitado y por la formación en valores que me dieron para seguir superándome de manera que siga siendo ejemplo para mis hermanos.

A mis hermanos: Lesly y Henry, porque son razón para seguir esforzándome cada día, no decaigan nunca en las ganas de luchar y aunque la vida les parezca injusta a momentos, recuerden que siempre se puede “volver a empezar”.

A mi amiga Malayna Raftopoulos, por creer en mí y apoyarme cuando fue necesario, por recordarme que con la lucha y perseverancia se logra que los sueños se cumplan cuando los deseamos con fuerza, y que el error es sólo parte del aprendizaje.

Dedico este trabajo a todos aquellos que confiaron en mí, pese a las vicisitudes de la vida, a las duras circunstancias que siempre me han rodeado y al sinfín de dificultades que he sabido superar...Gracias Familia

MARLITH

DEDICATORIA

Mi tesis la dedico con mucho amor y cariño:

A mis padres **Ermelinda** por haberme dado la vida y a **Jaime** por haber estado conmigo en todo momento, gracias por todo, por darme una carrera para mi futuro por creer en mí, aunque hemos pasado por momentos difíciles siempre han estado apoyándome y brindándome todo su amor. Los quiero con todo mi corazón.

A mis hermanos **Jean Pier, Tatiana, Henri y Manuelita**, gracias por estar conmigo, apoyarme siempre y cuidándome brindándome aliento para seguir superándome. A mi sobrino **Richard** por contagiarme la alegría de vivir. A mi cuñado **Ricardo** por sus consejos y solidaridad constante

A mis **amigos**, que son muchos, los que han pasado, los que han quedado, porque ustedes han sido parte de mi vida, han marcado mi vida de alguna forma y me han abierto los ojos al mundo, gracias.

KARIN

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecemos a Dios por iluminar nuestro camino para llegar hasta donde hemos llegado. Por permitirnos y terminar el presente trabajo de investigación, para seguir alcanzando nuestras metas.

A la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas en especial a los docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial por la calidad educacional que nos entregaron en nuestro periodo de formación, asimismo a los docentes encargados de los laboratorios que nos facilitaron la ejecución de nuestro proyecto de tesis, sin ellos los logros en nuestra vida universitaria no hubiesen sido posibles.

A nuestro asesor, Dr. en Ciencias e Ingeniería Miguel Ángel Barrena Gurbillón, Profesor Principal de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, por ser un gran educador e investigador y por sus valiosas sugerencias para realizar el presente proyecto de tesis y en la redacción del informe final.

A la Municipalidad Distrital de Luya Viejo, por brindarnos las facilidades para la recolección de los hongos comestibles *Suillus luteus*, para poder trabajar en nuestro proyecto de tesis.

A nuestro amigo Ing. Nino Haya Enriquez, por la ayuda y confianza brindada para la realización de éste proyecto.

MARLITH Y KARIN

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

Dr. VICENTE MARINO CASTAÑEDA CHÁVEZ

Rector

Ms.C. ROBERTO JOSE NERVI CHACON

Vicerrector Académico

Ms.C. ZOILA ROSA GUEVARA MUÑOZ

Vicerrectora Administrativa

Ms.C. WILSON MANUEL CASTRO SILIPÚ

Decano de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias

VISTO BUENO DEL ASESOR

El docente de la UNTRM-Amazonas que suscribe, hace constar que ha asesorado el proyecto y la realización de la tesis titulada **“INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA Y LA VELOCIDAD DEL AIRE SOBRE EL SECADO DEL HONGO *Suillus luteus* PROVENIENTE DE LUYA VIEJO, REGIÓN AMAZONAS”** presentada por la Bachilleres **MARLITH OROSCO TUESTA**, y **KARIN GUADALUPE ROJAS TRIGOSO**, Egresadas de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias, de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la UNTRM-Amazonas, dando el visto bueno y comprometiéndome a orientarlas en el levantamiento de observaciones y en la sustentación de la tesis.

Se expide la presente, a solicitud del interesado, para los fines que estime conveniente.



Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN
Profesor Principal DE UNTRM-Amazonas

JURADO EVALUADOR



**Ms.C. JULIO MARIANO CHAVEZ MILLA
PRESIDENTE**



**ING. ERICK AQUÍVIN SILVA
SECRETARIO**



**ING. OSCAR MITCHEL JARA ALARCÓN
MIEMBRO**

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	iii
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS	iv
VISTO BUENO DEL ASESOR	v
JURADO EVALUADOR	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	xix
RESUMEN	xx
ABSTRACT	xxi
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Hongo silvestre <i>Suillus luteus</i>	4
1.1.1 Crecimiento del hongo <i>Suillus luteus</i>	5
1.1.2 Desarrollo del hongo	6
1.1.3 Partes del hongo	6
1.1.4 Clasificación taxonómica	8
1.2. Secador de bandejas	9
II. MATERIAL Y MÉTODOS	14
2.1 Material biológico	14
2.2 Métodos experimentales	14

2.2.1	Caracterización físico - química del hongo <i>Suillus luteus</i> en fresco	15
2.2.1.1	Determinación de humedad	15
2.2.1.2	Determinación de proteínas	15
2.2.1.3	Determinación de pH	17
2.2.1.4	Determinación de azúcares reductores	17
2.2.2	Cinética de secado del hongo <i>Suillus luteus</i>	18
2.2.3	Caracterización físico - química del hongo <i>Suillus luteus</i> seco	22
2.2.3.1	Determinación de proteínas	22
2.2.3.2	Determinación de cenizas	22
2.2.4	Control de calidad	23
2.2.4.1	Parámetros organolépticos	23
2.2.5	Modelo matemático de la cinética de secado del hongo <i>Suillus luteus</i>	25
III.	RESULTADOS	26
3.1	Caracterización del hongo <i>Suillus luteus</i> en fresco	26
3.2	Cinética de secado del hongo <i>Suillus luteus</i>	26
3.3	Caracterización del producto final y control de calidad	34
3.3.1	Descripción física	34
3.3.2	Características sensoriales	34
3.4	Características fisicoquímicas del hongo seco	34
3.5	Modelo matemático de la cinética de secado del hongo <i>Suillus luteus</i>	35

IV. DISCUSIÓN	37
V. CONCLUSIONES	40
VI. RECOMENDACIONES	41
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
VIII. ANEXOS	45
ANEXO 1. Caracterización fisicoquímica del hongo <i>Suillus luteus</i> en fresco	46
ANEXO 2. Operación de secado del hongo <i>Suillus luteus</i>	48
ANEXO 3. Datos experimentales para determinar la cinética y el modelo matemático del secado de <i>Suillus luteus</i> en secador de bandejas con flujo de aire a 45 °C y velocidad de 3,0; 3,5 y 4,0 m/s.	52
ANEXO 4. Datos experimentales para determinar la cinética y el modelo matemático del secado de <i>Suillus luteus</i> en secador de bandejas con flujo de aire a 50 °C y velocidad de 3,0; 3,5 y 4,0 m/s.	65
ANEXO 5. Datos experimentales para determinar la cinética y el modelo matemático del secado de <i>Suillus luteus</i> en secador de bandejas con flujo de aire a 60 °C y velocidad de 3,0; 3,5 y 4,0 m/s	79
ANEXO 6. Color del hongo <i>Suillus luteus</i> seco	92
ANEXO 7. Caracterización del producto final y control de calidad	93
ANEXO 8. NORMA DEL CODEX PARA LOS HONGOS COMESTIBLES DESECADOS 1 CODEX STAN 39-198	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valor nutricional de los hongos comestibles	9
Tabla 2. Estándares sensoriales de <i>Suillus luteus</i>	24
Tabla 3. Parámetros de calidad del <i>Suillus luteus</i> seco	24
Tabla 4. Caracterización fisicoquímica en 100 g del hongo fresco	26
Tabla 5. Datos experimentales de la operación de secado de rodajas de hongo <i>Suillus luteus</i> , en secador de bandejas con flujo de aire a 60°C y velocidad de 3,0 m/s	29
Tabla 6. Caracterización sensorial de los hongos deshidratados	34
Tabla 7. Caracterización fisicoquímica en 100 g de hongos deshidratados	34
Tabla 8. Ecuaciones correspondientes a la parte recta y a la parte curva de cada una de las gráficas de secado obtenidas con los datos experimentales analizados con el software SPSS y sus parámetros cinéticos	36
Tabla 9. Datos experimentales de la operación de secado de rodajas de hongo <i>Suillus luteus</i> , en secador de bandejas con flujo de aire a 45 °C y velocidad de 3,0 m/s.	52
Tabla 10. Datos experimentales de la operación de secado de rodajas de hongo <i>Suillus luteus</i> , en secador de bandejas con flujo de aire a 45 °C y velocidad de 3,5 m/s.	53
Tabla 11. Datos experimentales de la operación de secado de rodajas de hongo <i>Suillus luteus</i> , en secador de bandeja con flujo de aire a 45 °C y velocidad de 4,0 m/s.	54
Tabla 12. Resumen del modelo de regresión lineal (T1 = 45 °C; W1 = 3,0 m/s).	56
Tabla 13. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal (T1 = 45 °C; W1 = 3,0 m/s).	56

Tabla 14. Coeficientes de la ecuación lineal ($T1 = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$; $W1 = 3,0\text{ m/s}$).	56
Tabla 15. Resumen del modelo de regresión exponencial ($T1 = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$; $W1 = 3,0\text{ m/s}$).	57
Tabla 16. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial ($T1 = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$; $W1 = 3,0\text{ m/s}$)	57
Tabla 17. Coeficientes de la ecuación exponencial ($T1 = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$; $W1 = 3,0\text{ m/s}$).	58
Tabla 18. Resumen del modelo de regresión lineal ($T1 = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$; $W2 = 3,5\text{ m/s}$).	59
Tabla 19. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal ($T1 = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$; $W2 = 3,5\text{ m/s}$).	59
Tabla 20. Coeficientes de la ecuación lineal ($T1 = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$; $W2 = 3,5\text{ m/s}$).	59
Tabla 21. Resumen del modelo de regresión exponencial ($T1 = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$; $W2 = 3,5\text{ m/s}$).	60
Tabla 22. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial ($T1 = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$; $W2 = 3,5\text{ m/s}$).	60
Tabla 23. Coeficientes de la ecuación exponencial ($T1 = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$; $W2 = 3,5\text{ m/s}$).	61
Tabla 24. Resumen del modelo de regresión lineal ($T1 = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$; $W3 = 4,0\text{ m/s}$).	62
Tabla 25. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal ($T1 = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$; $W3 = 4,0\text{ m/s}$).	62
Tabla 26. Coeficientes de la ecuación lineal ($T1 = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$; $W3 = 4,0\text{ m/s}$).	62
Tabla 27. Resumen del modelo de regresión exponencial ($T1 = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$; $W3 = 4,0\text{ m/s}$).	63
Tabla 28. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial ($T1 = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$; $W3 = 4,0\text{ m/s}$).	63
Tabla 29. Coeficientes de la ecuación exponencial ($T1 = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$; $W3 = 4,0\text{ m/s}$).	64
Tabla 30. Datos experimentales de la operación de secado de rodajas de hongo	

<i>Suillus luteus</i> , en secador de bandejas con flujo de aire a 50 °C y velocidad de 3,0 m/s	65
Tabla 31. Datos experimentales de la operación de secado de rodajas de hongo <i>Suillus luteus</i> , en secador de bandejas con flujo de aire a 50 °C y velocidad de 3,5 m/s	66
Tabla 32. Datos experimentales de la operación de secado de rodajas de hongo <i>Suillus luteus</i> , en secador de bandejas con flujo de aire a 50 °C y velocidad de 4,0 m/s	67
Tabla 33. Resumen del modelo de regresión lineal (T2 = 50 °C; W1 = 3,0 m/s).	69
Tabla 34. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal (T2 = 50 °C; W1 = 3,0 m/s).	69
Tabla 35. Coeficientes de la ecuación lineal (T2 = 50 °C; W1 = 3,0 m/s).	69
Tabla 36. Resumen del modelo de regresión exponencial (T2 = 50 °C; W1 = 3,0 m/s).	70
Tabla 37. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial (T2 = 50 °C; W1 = 3,0 m/s).	70
Tabla 38. Coeficientes de la ecuación exponencial (T2 = 50 °C; W1 = 3,0 m/s).	71
Tabla 39. Resumen del modelo de regresión lineal (T2 = 50 °C; W2 = 3,5 m/s).	72
Tabla 40. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal (T2 = 50 °C; W2 = 3,5 m/s).	72
Tabla 41. Coeficientes de la ecuación lineal (T2 = 50 °C; W2 = 3,5 m/s).	72
Tabla 42. Resumen del modelo de regresión exponencial (T2 = 50 °C; W2 = 3,5 m/s).	73

Tabla 43. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial (T2 = 50 °C; W2 = 3,5 m/s).	74
Tabla 44. Coeficientes de la ecuación exponencial (T2 = 50 °C; W2 = 3,5 m/s).	74
Tabla 45. Resumen del modelo de regresión lineal (T2 = 50 °C; W3 = 4,0 m/s).	75
Tabla 46. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal (T2 = 50 °C; W3 = 4,0 m/s).	76
Tabla 47. Coeficientes de la ecuación lineal (T2 = 50 °C; W3 = 4,0 m/s).	76
Tabla 48. Resumen del modelo de regresión exponencial (T2 = 50 °C; W3 = 4,0 m/s).	77
Tabla 49. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial (T2 = 50 °C; W3 = 4,0 m/s).	77
Tabla 50. Coeficientes de la ecuación exponencial (T2 = 50 °C; W3 = 4,0 m/s).	78
Tabla 51. Datos experimentales de la operación de secado de rodajas de hongo <i>Suillus luteus</i> , en secador de bandejas con flujo de aire a 60°C y velocidad de 3,0 m/s.	79
Tabla 52. Datos experimentales de la operación de secado de rodajas de hongo <i>Suillus luteus</i> , en secador de bandejas con flujo de aire a 60°C y velocidad de 3,5 m/s.	80
Tabla 53. Datos experimentales de la operación de secado de rodajas de hongo <i>Suillus luteus</i> , en secador de bandejas con flujo de aire a 60°C y velocidad de 4,0 m/s	81
Tabla 54. Resumen del modelo de regresión lineal (T3 =60 °C; W1 = 3,0 m/s).	83
Tabla 55. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal (T3 = 60 °C; W1 = 3,0 m/s).	83
Tabla 56. Coeficientes de la ecuación lineal (T3 = 60 °C; W1 = 3,0 m/s).	83

Tabla 57. Resumen del modelo de regresión exponencial ($T_3 = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$; $W_1 = 3,0\text{ m/s}$).	84
Tabla 58. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial ($T_3 = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$; $W_1 = 3,0\text{ m/s}$).	84
Tabla 59. Coeficientes de la ecuación exponencial ($T_3 = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$; $W_1 = 3,0\text{ m/s}$).	85
Tabla 60. Resumen del modelo de regresión lineal ($T_3 = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$; $W_2 = 3,5\text{ m/s}$).	86
Tabla 61. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal ($T_3 = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$; $W_2 = 3,5\text{ m/s}$).	86
Tabla 62. Coeficientes de la ecuación lineal ($T_3 = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$; $W_2 = 3,5\text{ m/s}$).	86
Tabla 63. Resumen del modelo de regresión exponencial ($T_3 = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$; $W_2 = 3,5\text{ m/s}$).	87
Tabla 64. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial ($T_3 = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$; $W_2 = 3,5\text{ m/s}$).	87
Tabla 65. Coeficientes de la ecuación exponencial ($T_3 = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$; $W_2 = 3,5\text{ m/s}$).	88
Tabla 66. Resumen del modelo de regresión lineal ($T_3 = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$; $W_3 = 4,0\text{ m/s}$).	89
Tabla 67. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal ($T_3 = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$; $W_3 = 4,0\text{ m/s}$).	89
Tabla 68. Coeficientes de la ecuación lineal ($T_3 = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$; $W_3 = 4,0\text{ m/s}$).	89
Tabla 69. Resumen del modelo de regresión exponencial ($T_3 = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$; $W_3 = 4,0\text{ m/s}$).	90
Tabla 70. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial ($T_3 = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$; $W_3 = 4,0\text{ m/s}$).	90
Tabla 71. Coeficientes de la ecuación exponencial ($T_3 = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$; $W_3 = 4,0\text{ m/s}$).	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Relación simbiótica hongo-raíz	5
Figura 2. Esquema del desarrollo del cuerpo frutal en <i>Suillus luteus</i>	6
Figura 3. Parte de un cuerpo frutal o carpóforo adulto de un hongo	8
Figura 4. Influencia de la velocidad del aire sobre la operación de secado	10
Figura 5. Curvas de velocidad de secado de material sólido granular	13
Figura 6. Plan experimental, a cada temperatura se evaluaron tres velocidades del aire de secado	
Figura 7. Plan experimental del secado del hongo <i>Suillus luteus</i>	21
Figura 8. Humedad residual en función del tiempo (T1=45°C; W1=3,0m/s; W2=3,5m/s; W3=4,0m/s)	27
Figura 9. Humedad residual en función del tiempo (T2=50°C; W1=3,0m/s; W2=3,5m/s; W3=4,0m/s)	28
Figura 10. Humedad residual en función del tiempo (T3=60°C; W1=3,0m/s; W2=3,5m/s; W3=4,0m/s)	30
Figura 11. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio (T1=45°C; W1=3,0; 3,5 y 4,0m/s)	31
Figura 12. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio (T2=50°C; W1=3,0; 3,5 y 4,0m/s)	32
Figura 13. Variación de la humedad con el tiempo en función de la Humedad residual promedio (T3=60°C; W1=3,0; 3,5 y 4,0m/s)	32
Figura 14. Humedad residual en función del tiempo (T1 = 45 °C; W1 = 3,0 m/s; W2 = 3,5 m/s; W3 = 4,0 m/s)	55
Figura 15. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad	

residual promedio ($T_1 = 45\text{ }^\circ\text{C}$; $W = 3,0; 3,5$ y $4,0$ m/s)	55
Figura 16. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. ($T_1 = 45\text{ }^\circ\text{C}$; $W_1 = 3,0$ m/s).	57
Figura 17. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. ($T_1 = 45\text{ }^\circ\text{C}$; $W_1 = 3,0$ m/s).	58
Figura 18. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. ($T_1 = 45\text{ }^\circ\text{C}$; $W_2 = 3,5$ m/s).	60
Figura 19. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. ($T_1 = 45\text{ }^\circ\text{C}$; $W_2 = 3,5$ m/s).	61
Figura 20. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. ($T_1 = 45\text{ }^\circ\text{C}$; $W_3 = 4,0$ m/s).	63
Figura 21. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. ($T_1 = 45\text{ }^\circ\text{C}$; $W_3 = 4,0$ m/s).	64
Figura 22. Humedad residual en función del tiempo ($T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $W_1 = 3,0$ m/s; $W_2 = 3,5$ m/s; $W_3 = 4,0$ m/s)	68
Figura 23. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio ($T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $W = 3,0; 3,5$ y $4,0$ m/s)	68

- Figura 24. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. ($T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $W_1 = 3,0\text{ m/s}$). 70
- Figura 25. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. ($T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $W_1 = 3,0\text{ m/s}$). 71
- Figura 26. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. ($T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $W_2 = 3,5\text{ m/s}$). 73
- Figura 27. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. ($T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $W_2 = 3,5\text{ m/s}$). 75
- Figura 28. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. ($T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$; $W_3 = 4,0\text{ m/s}$). 77
- Figura 29. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. ($T_2 = 50^\circ\text{C}$; $W_3 = 4,0\text{ m/s}$). 78
- Figura 30. Humedad residual en función del tiempo ($T_3 = 60\text{ }^\circ\text{C}$; $W_1 = 3,0\text{ m/s}$; $W_2 = 3,5\text{ m/s}$; $W_3 = 4,0\text{ m/s}$) 82
- Figura 31. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio ($T_3 = 60\text{ }^\circ\text{C}$; $W = 3,0; 3,5\text{ y }4,0\text{ m/s}$) 82
- Figura 32. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. ($T_3 = 60\text{ }^\circ\text{C}$; $W_1 = 3,0\text{ m/s}$). 84

- Figura 33. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. ($T_3 = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$; $W_1 = 3,0\text{ m/s}$). 85
- Figura 34. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. ($T_3 = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$; $W_2 = 3,5\text{ m/s}$). 87
- Figura 35. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. ($T_3 = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$; $W_2 = 3,5\text{ m/s}$). 88
- Figura 36. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. ($T_3 = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$; $W_3 = 4,0\text{ m/s}$). 90
- Figura 37. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. ($T_3 = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$; $W_3 = 4,0\text{ m/s}$). 91

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Analizador automático de humedad.	46
Fotografía 2. Análisis de proteína del hongo fresco.	47
Fotografía 3. Ecurrido del jugo del hongo fresco.	47
Fotografía 4. No hay cambio de color.	47
Fotografía 5. Hongo <i>Suillus luteus</i>	48
Fotografía 6. Recolección del <i>Suillus luteus</i> .	48
Fotografía 7. Pesado del <i>Suillus luteus</i> .	48
Fotografía 8. Lavado del <i>Suillus luteus</i> .	48
Fotografía 9. Pelado del <i>Suillus luteus</i>	49
Fotografía 10. Cortado en rodajas del <i>Suillus luteus</i>	49
Fotografía 11. Secador de bandejas del Laboratorio de Ingeniería de la UNTRM-A.	49
Fotografía 12. Secado del <i>Suillus luteus</i> .	50
Fotografía 13. Medición de la velocidad del aire con el anemómetro digital.	50
Fotografía 14. Envasado del <i>Suillus luteus</i> .	50
Fotografía 15. Empacado al vacío del <i>Suillus luteus</i> .	51
Fotografía 16. Rodajas de hongo <i>Suillus luteus</i> secados a 45 y 50°C	92
Fotografía 17. Rodajas de hongo <i>Suillus luteus</i> secado a 60°C y 3m/s.	92
Fotografía 18. Análisis de proteína del hongo seco	93

RESUMEN

El hongo *Suillus luteus*, conocido como callampa del pino es un hongo comestible que crece bajo pinos de diversas especies, es rico en proteínas y bajo en nivel de grasas, siendo el hongo seco un producto orgánico y tiene mayor demanda en el mercado. Este trabajo determinó los parámetros necesarios para la obtención de hongo seco en un secador de bandejas con flujo de aire caliente; empleándose para ello hongo fresco en etapa adulto y con buen estado sanitario, recolectando del bosque de pinos de Luya Viejo - Amazonas. El hongo fue cortado en rodajas de 0,3 cm de espesor aproximadamente y colocadas en un secador de bandejas con aire caliente de laboratorio. Se ensayaron tres temperaturas para el aire de secado (45°C, 50°C y 60°C) y tres velocidades de este aire: 3,0; 3,5 y 4 m/s. Los resultados experimentales indican que el mejor color amarillo del hongo seco se consiguió trabajando con aire de secado a una temperatura de 60 °C y velocidad de 3 m/s; con estas condiciones del aire el tiempo crítico de secado fue de 18,5 minutos, la humedad crítica de 7,5 g agua/g hongo seco, la humedad de equilibrio fue 0,2 g agua/g hongo seco y la velocidad de secado fue de 0,27 g agua/g hongo seco.minuto; se emplea 115 minutos para reducir la humedad del hongo fresco hasta 12 % en base húmeda. Los resultados experimentales se procesaron con SPSS 15.0, para obtener las ecuación representativa de la parte recta y de la curva de la gráfica de humedad residual vs tiempo, las que vienen a ser el modelo matemático correspondiente. A velocidad del aire mayor o igual a 3 m/s y a cualquiera de las temperaturas del aire empleadas, la curva de velocidad de secado decreciente se representa mejor por una ecuación exponencial.

Palabras clave: hongo, secado

ABSTRACT

The mushroom "*Suillus luteus*", known as Slippery Jack, is a edible mushroom that grow sunderneath a divers species of pine trees, that is rich in protein and low in fat. Being a dry mushroom and an organic product it have a greater demand in the market. This study determined the parameters necessary for the obtaining of dry mushroom in a tray dryer with hot air being used for this fresh mushroom adult and with good sanitary conditions collecting of the pine forest of Luya Viejo - Amazonas. The mushroom was cut into slices 0,3 cm thick approximately and placed in laboratory tray dryer with hot air. Three temperatures were tested for air drying (45°C, 50°C y 60°C) and three speeds of this air: 3,0; 3,5 y 4 m/s. The experimental results indicate that the best yellow color of dry mushroom, are achieved by working with drying air at a temperature of 60 °C and velocity of 3,0 m/s, with these conditions critical time drying was 18,5 minutes, the critical moisture content of 7,5 g water/g dry mushroom, the equilibrium moisture content of 0,2 g water/g dry mushroom and drying rate was of 0,27 g water/g dry mushroom.minute, is used 115 minutes to reduce moisture of mushroom to 12 % wet basis. The experimental results were processed with SPSS 15.0, to obtain the equation representing the straight and curve of the graph of residual moisture vs. time that come to be the corresponding mathematical model. A air speed greater than or equal to 3 m/s and any of the air temperatures used, the curve of decreasing drying rate is best represented by an exponential equation.

Keywords: mushroom, drying

I. INTRODUCCIÓN

La cosecha y manejo básico del hongo comestible *Suillus luteus*, son en extremo simples y las inversiones requeridas insignificantes; sin embargo, pueden permitir el uso de tecnologías más complejas que requieren de grandes inversiones, generando productos finales de alto valor comercial. Esto último, comprende el desarrollo de agroindustrias para el procesamiento de hongos comestibles en áreas rurales forestales, con efectos y propósitos altamente convenientes: generación de empleos, reciclaje de desechos forestales con fines de producción de energía y descontaminación, minimización de costos de transporte y mejoramiento en la calidad sanitaria de los hongos a procesar. El consumo de hongos silvestres en los países desarrollados, es día a día mayor (sobre 3.000.000 toneladas métricas por año), con lo cual la demanda por este tipo de productos está asegurada, para aquellos países en desarrollo que estén capacitados para fomentar su producción, pudiendo contribuir a la solución de problemas de mal nutrición y mejorar su balanza comercial (Ipinza y Bascur, 1984).

Los hongos continúan respirando después de la cosecha y tienen una tasa de respiración relativamente alta comparada con otros productos frescos, la tasa de respiración del hongo es tres veces mayor que la mayoría de las frutas. La tasa de respiración es un buen indicador de la vida de anaquel y la respiración produce cambios en la textura del hongo. La textura de los hongos se altera a medida que pierden su firmeza y su carne se oscurece. El agua dentro de los hongos también favorece el crecimiento bacteriano (Byung, 2005).

Para el almacenamiento de hongos a largo plazo se aplican diferentes métodos de conservación como el secado, salmuerado y congelado. El secado preserva a los hongos

quitando suficiente agua para inactivar a las enzimas y los microorganismos, conserva su buen sabor previniendo su deterioro y es conveniente para su almacenamiento a largo plazo y para su transporte. El contenido de humedad de los hongos frescos es de 70-95% dependiendo del tiempo de cosecha y las condiciones ambientales. Hay varios métodos empleados comúnmente para el secado de hongos (Byung, 2005).

En el método de secado al sol, los hongos se extienden en estantes de manera que las laminillas queden hacia arriba y se exponen directamente a la luz del sol. El tiempo de secado requerido variará y dependerá de las condiciones del tiempo. En general, la calidad de los hongos secados al sol es más baja que la de los secados por energía térmica o aire caliente (Byung, 2005).

La humedad es el contenido de agua por unidad de masa de sólido seco. El término secado se refiere a la eliminación de humedad en una sustancia. De acuerdo a la forma de la alimentación, el secado puede ser continuo o discontinuo; y de acuerdo al agente de secado puede ser directo o indirecto. En Ingeniería Agroindustrial, consideraremos que el causante de la humedad es el agua y que el agente de secado es aire caliente. (Perry & Chilton, 1982)

En las áreas de revegetación de la minera Yanacocha ubicada en la cordillera del norte de Cajamarca, se realizaron estudios a los hongos micorrícicos del pino para determinar su taxonomía. Las muestras de hongos micorrícicos fueron colectadas de los bosques de pino de Aylambo, Porcón y Yanacocha Grande. El resultado obtenido en dicha investigación fue satisfactorio, ya que se logró identificar sus características morfológicas, así como también su taxonomía (Roncal y Barrantes, 2009).

En el método de secado por aire caliente, éste es insuflado dentro del secador y los hongos en los estantes son expuestos al aire caliente. Para lograr las condiciones óptimas, la temperatura y humedad del aire pueden controlarse mediante el uso de calentadores y aberturas de recirculación. Mediante éste método, los hongos tienen una mejor calidad con condiciones higiénicas más altas y un color más luminoso comparando con los hongos secados al sol. La cámara de secado debe calentarse a 40-60°C antes de introducir los hongos. Si los hongos se introducen al principio, tomará más tiempo hasta que la cámara alcance la temperatura efectiva, y esto causará la autodigestión de los hongos por sus propias enzimas y producirá el deterioro y ablandamiento de su textura (Byung, 2005).

Es conveniente clasificar a los hongos según su tamaño antes de secarlos. Esto asegurará un secado uniforme y producirá hongos secos de buena calidad. Para obtener 1 kg de hongos secos (5 - 8 % de humedad) se requieren entre 10 y 20 kg de hongos frescos (Lira, 1989).

Los hongos son interesantes complementos de la dieta alimentaria humana por su aporte de diferentes componentes como proteínas (20,32%), carbohidratos (53,58%) y son bajos en grasas (3,66%) .El hongo *Suillus luteus* tiene propiedades medicinales, un gran sabor muy apetecido por la alta cocina, que garantiza una demanda permanente. Por su alto valor nutritivo, se puede preparar de múltiples formas como si fuera carne, con la diferencia que es ecológica. Se puede preparar saltadito de hongos, tortilla de hongos, ceviche de hongos, y otros platos deliciosos y sofisticados, ya sea en fresco o en seco.

La tendencia de los nuevos mercados internacionales, está siempre en la búsqueda de productos saludables; principalmente naturales, que ofrezcan un valor agregado, teniendo presente la calidad y la preservación de lo orgánico, dentro de un mundo cada vez más sintético. Se ha determinado que los hongos secos, ofrecen un sinnúmero de cualidades.

Los hongos secos (*Suillus luteus*) son productos 100% orgánicos, ya que crecen de manera espontánea en los bosques de pino (*Pinus radiata* y *Pinus patula*), por lo que se les denomina silvestres y la intervención del hombre es principalmente en la recolección. Son benéficos para la salud; se ha demostrado que contienen biomoléculas con poder curativo (Ayala, 2006).

El consumo de los hongos está creciendo en gran escala en los mejores restaurantes de los países industrializados, donde los productos orgánicos que tienen un sabor exquisito le dan a sus platos un toque de exclusiva finura para paladares exigentes, en los que se destacan los productos de mayor demanda como hongos rebanados (hongos secos), polvo de hongos y granulado de hongos (Ayala, 2006).

1.1. Hongo silvestre *Suillus luteus*

Este hongo crece en forma natural en las plantaciones de pinos húmedos. Su producción se incrementa en la época de lluvia. El hongo y el pino son organismos que viven en simbiosis en la naturaleza, ambos organismos se benefician sin causarse daño. Las raíces del pino entregan al hongo sustancias ácidas (nocivas para el pino pero beneficiosas para el hongo para poder vivir) y el hongo entrega al pino proteínas y minerales (Grünert y Grünert, 1986).

Crece exclusivamente en las plantaciones forestales de *Pinus radiata* y *Pinus patula* desde finales de otoño a principios de primavera o en épocas con bastante humedad, dependiendo de la latitud. Es uno de los hongos más recolectados y su productividad se estima que puede llegar a 1,5 toneladas de producto fresco por hectárea, en bosques menores de 12 años (Grünert y Grünert, 1986).

1.1.1 Crecimiento del hongo *Suillus luteus*

A partir del cuarto año de edad, los pinos extienden sus raíces, y los hongos forman filamentos o "micelios" que se asocian a las raíces beneficiándose mutuamente. La planta proporciona azúcares al hongo a través de sus raíces, y el hongo ayuda al pino a absorberlos nutrientes del suelo a través de los micelios. De esta manera se inicia una asociación útil para las dos partes (Ayala, 2006).

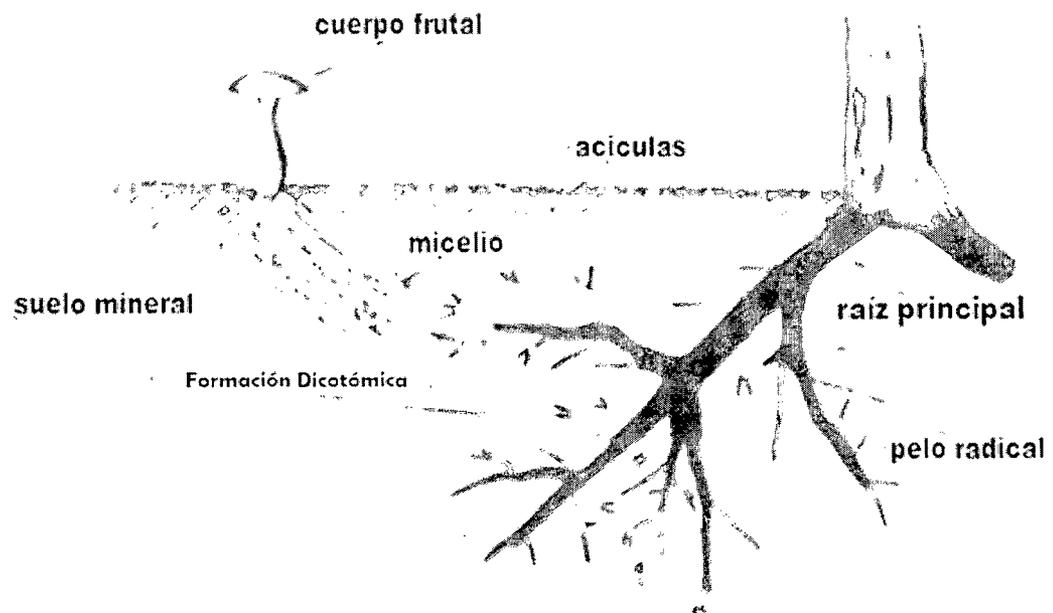


Figura 1. Relación simbiótica hongo-raíz (Fuente: Donoso, 1989).

1.1.2 Desarrollo del hongo

El hongo tiene varias etapas en su desarrollo: primordio, adulto y senescente (Figura 2). El primordio corresponde a la etapa juvenil, preferido para venderse especialmente como champiñón entero de uso en salmuera. Al abrirse el primordio deja un anillo en el tallo, pasando el hongo a la edad adulta, utilizado para ser trozado y sometido posteriormente a deshidratado.

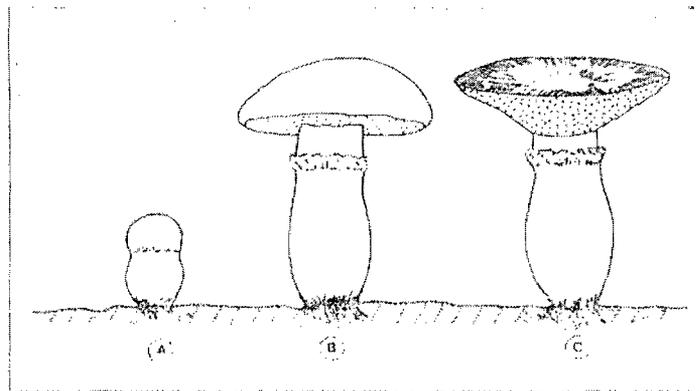


Figura 2. Esquema del desarrollo del cuerpo frutal en *Suillus luteus* (A: primordio; B: adulto; C: senescente) (Fuente: Donoso, 1989).

1.1.3 Partes del hongo

Las diferentes partes que componen el cuerpo frutal de un hongo superior no difieren de una especie a otra, sin embargo, pueden contar con características especiales que marquen la diferencia (Figura 3):

- **Sombrero o pileo:** El sombrero, está cubierto por una cutícula que puede ser de diversos colores, tamaño y características, pudiendo presentar estrías o motas, dependiendo de las condiciones climáticas y del sustrato que se alimenta. Tiene como función portar y proteger las estructuras reproductivas.

- **Himenio:** conjunto de órganos reproductores (ascos o basidios): Se encuentra en la parte inferior del hongo, se trata de un tejido muy fino que presenta distintas formas dependiendo de la especie, su función es la de sostener el sombrero.
- **Pie o estípite:** el pie, es la parte del hongo que sostiene el sombrero, éste puede ser central o en casos excéntricos, puede ser corto o largo, cilíndrico o globoso. La consistencia de la carne, en casi todos los casos, es igual a la del sombrero.
- **Anillo o velo parcial:** corresponde a los restos de la envoltura juvenil que se forma al madurar el hongo, y que al no haberse desprendido del todo, queda enganchado alrededor del pie presentando forma de collar.
- **Velo general:** es la envoltura que cubre a la mayoría de las especies, cuando se rompe para dejar pasar el sombrero, puede que desaparezca o que queden restos al pie. Estos restos que envuelven la base del pie se llama volva.
- **Volva:** Engrosamiento del pie en su base, en forma de saco o funda formada por restos de velo general.
- **Micelio:** es la parte vegetativa del hongo, su misión consiste en tomar del suelo los diversos compuestos orgánicos para alimentarse. Generalmente, es de color blanco y puede llegar a tener muchos metros de longitud.

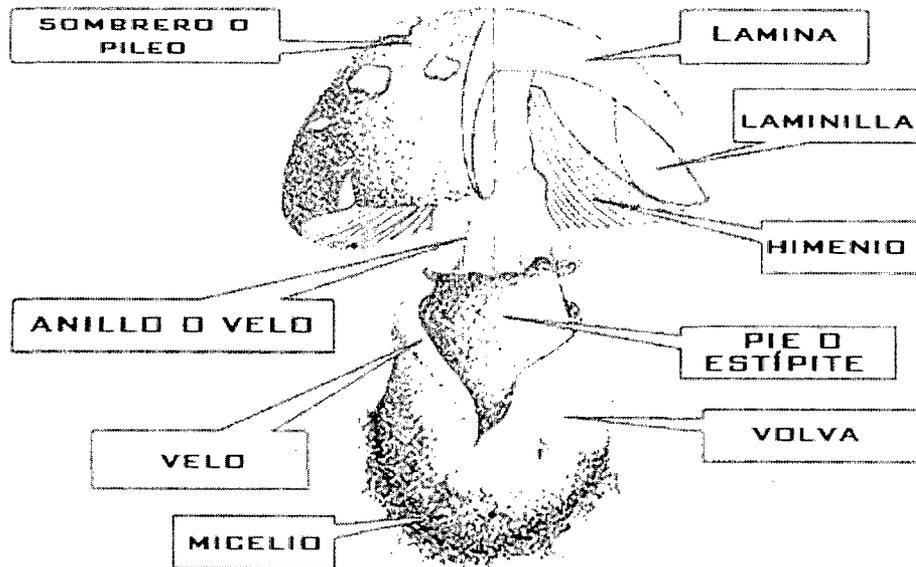


Figura 3. Parte de un cuerpo frutal o carpóforo adulto de un hongo (Fuente: Donoso, 1989).

1.1.4 Clasificación taxonómica

- Reino : Hongo
- División : Eumycota
- Clase : Basidiomycetes
- Orden : Agaricales
- Familia : Boletaceae
- Género : *Suillus*
- Especie : *Suillus luteus* (*Boletus luteus*)

Tabla 1. Valor nutricional de los hongos comestibles

Especie	Proteína total en % del peso seco	Grasas en % del peso seco	Carbohidratos en % del peso seco	Cenizas en % del peso seco
<i>Suillus luteus</i>	20,32	3,66	56,58	6,1
<i>Boletus granulatus</i>	14,02	2,04	70,39	6,12
<i>Lactarius deliciosus</i>	27,42	6,72	27,6	5,92
<i>Morchella conica</i>	35	2,38	47	9,42 - 10,70

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).Comité Forestal de la FAO.

1.2. Secador de bandejas

Es un equipo totalmente cerrado y aislado en el cual los sólidos se colocan sobre bandejas perforadas para proveer una mayor superficie de secado. La transmisión de calor puede ser directa del aire a los sólidos, utilizando la circulación de grandes volúmenes de aire caliente; o indirecta, utilizando repisas o bases calentadas, serpentines de radiador o paredes refractarias al interior de la cubierta. En unidades de calor indirecto, exceptuando los equipos de repisas al vacío, casi siempre se necesita la circulación de una cantidad de aire para eliminar el vapor (humedad) del compartimiento y evitar la saturación y condensación del aire. Las unidades de bandejas se emplean para calentar y secar madera, cerámica, materiales en hojas (sostenidas en postes), objetos pintados, y todas las formas de sólidos particulados (Perry & Chilton, 1982).

El funcionamiento satisfactorio de los secadores de bandejas depende de mantener una temperatura constante y una velocidad de aire uniforme, sobre todo el material que se esté secando. Conviene tener una circulación de aire con velocidades de 1 a 10 m/s para mejorar el coeficiente de transferencia de calor en la superficie y con el propósito de eliminar bolsas de aire estancado. La corriente de aire no uniforme es uno de los problemas más graves que se presentan en el funcionamiento de los secadores de bandejas (Ibarz y otros, 2000; Perry & Chilton, 1982).

El aire se hace circular por medio de ventiladores de hélice o centrífugos. La caída total de presión por las bandejas, los calentadores y los ductos es, casi siempre, del orden de 2,5 a 5,0 cm de agua. La recirculación del aire es usualmente del orden del 80 al 95%, excepto durante la etapa inicial de secado de evaporación rápida. La velocidad del aire de secado influye sobre esta operación. A mayor velocidad, menor tiempo de secado; sin embargo, para una muestra dada, a cualquier velocidad del aire, la humedad crítica (Y_c) y la humedad de equilibrio (Y_{eq}) no variarán.

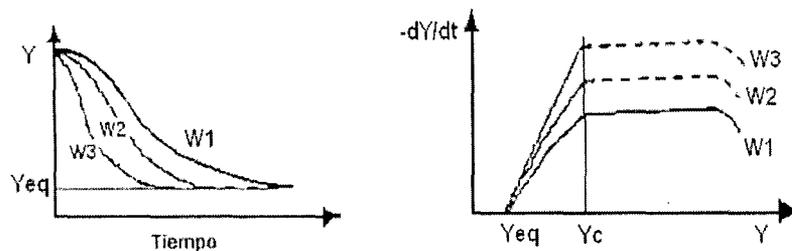


Figura 4. Influencia de la velocidad del aire sobre la operación de secado. ($w_3 > w_2 > w_1$; donde w : velocidad). (Fuente: Lewis, 1993).

A continuación se definen los términos que se utilizan para describir el contenido de humedad de las sustancias (Ocón y Tojo, 1980; Perry & Chilton, 1982; Geankoplis, 1998).

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

$$Y_s = ((m \text{ sólido a secar} - m \text{ sólido seco})/m \text{ sólido seco}) \times 100$$

Donde:

$m = \text{masa}$

$$Y = \frac{\text{g de agua}}{\text{g SS}} = \frac{\text{g de humedad}}{\text{g SS}}$$

- b. **Contenido de humedad en equilibrio (Y_{eq})**, es la humedad límite a la cual un material dado se puede secar, en condiciones específicas de temperatura y humedad del aire (Figura 4).
- c. **Contenido crítico de humedad (Y_c)**, es el contenido de humedad promedio cuando concluye el periodo de velocidad constante.
- d. **Contenido de humedad libre (Y_l) o humedad residual (Y_r)**, es el líquido que se puede separar a una temperatura y humedad dadas. Este valor llega a incluir tanto la humedad residual como la no residual. Es el exceso de humedad de un sólido, respecto a la humedad de equilibrio, en contacto con una determinada masa de aire. Es la humedad que puede perder un sólido después de un contacto prolongado con el aire.
- e. **Humedad de un sólido**, es el peso de agua que acompaña a la unidad de peso de sólido seco.
- f. **Humedad ligada**, es la humedad de equilibrio de un sólido en contacto con una masa de aire de humedad relativa del 100 %. También, la humedad mínima necesaria para que el sólido deje de comportarse como higroscópico.
- g. **Humedad desligada**, es la diferencia entre la humedad del sólido y la humedad ligada, o la humedad libre del sólido en contacto con aire saturado. El sólido se comporta como sólido húmedo.

h. Mecanismos de secado, en la operación de secado hay que eliminar la humedad sobre la superficie y la del interior del sólido. Si la humedad es elevada, la evaporación tiene lugar sobre la superficie totalmente mojada; el líquido se renueva continuamente por difusión rápida desde el interior y la velocidad de secado permanece constante sin depender de la humedad total, es el **periodo de velocidad de secado constante** y se prolonga hasta alcanzar la humedad crítica. Cuando la humedad del sólido es inferior a la humedad crítica, la difusión desde el interior no puede suministrar todo el líquido que se evapora en la superficie, lo que lleva consigo el descenso de la velocidad de evaporación. Tiene lugar la aparición de zonas secas sobre la superficie, y termina cuando la superficie del sólido queda libre del líquido, se le conoce como **1^{er} periodo de velocidad decreciente**.

A continuación, la velocidad de secado sigue descendiendo, la evaporación se produce en el interior del sólido, cada vez más lejos de la superficie, difundiendo posteriormente el vapor, es el **2^{do} periodo de velocidad decreciente**.

En cada momento, la velocidad de secado es función de la velocidad de transmisión de calor y de la velocidad de transferencia de materia, que depende del tipo y características del material.

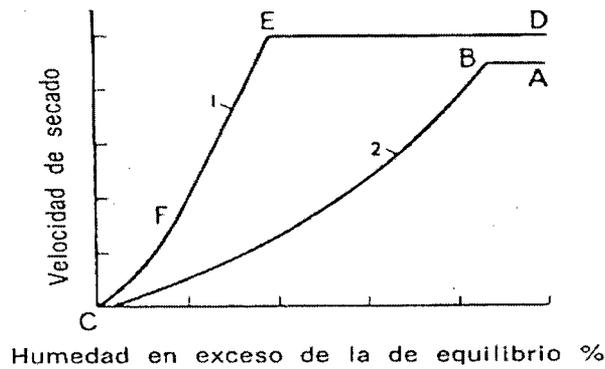


Figura5. Curvas de velocidad de secado de material sólido granular. (Fuente: Ibarz et al., 2000; Lewis, 1993).

La curva 2 de la Figura 5, tiene dos zonas de secado definidas, el tramo AB de velocidad constante, independiente de la humedad y el tramo BC que corresponde a un descenso continuado de la velocidad de secado, la velocidad varía linealmente con la humedad. El punto B indica la humedad crítica. En la curva 1 de la Figura 5, se distinguen tres periodos de velocidad de secado, DE a velocidad constante; EF línea recta que indica el primer periodo de secado de velocidad decreciente, la velocidad varía linealmente con la humedad; la última etapa FC que es el segundo periodo de velocidad decreciente, no existe relación lineal entre la humedad y la velocidad de secado. La estrategia del secado implica la eliminación del exceso de agua sin dañar a los otros constituyentes del alimento. Por otra parte, cuando se deshidrata un producto se puede eliminar demasiada agua. En algunos casos la estabilidad durante el almacenamiento de un producto deshidratado se favorece dejándole vestigios de humedad, equivalente a la capa monomolecular de agua que reviste todas las superficies internas y externas. Esta capa monomolecular de agua sirve de barrera entre el oxígeno atmosférico y los constituyentes sensibles del alimento que, de lo contrario, serían más fácilmente oxidados.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

La presente investigación fue desarrollada en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM-A).

2.1 Material biológico

Se utilizó 30 kg de hongos adultos (*Suillus luteus*) provenientes del bosque de pinos del distrito de Luya Viejo, provincia de Luya, Región Amazonas. Las características resaltantes para la recolección del hongo fueron en estado adulto y con un diámetro de 10 a 14 cm.

2.2 Métodos experimentales

Se empleó la operación de secado en la que se evaluaron tres temperaturas del aire de secado (45°C, 50°C y 60°C), con tres velocidades de este aire (3m/s, 3,5m/s y 4m/s) en el secador de bandejas del Laboratorio de Ingeniería de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

2.2.1 Caracterización físico - química del hongo *Suillus luteus* en fresco

2.2.1.1 Determinación de humedad

La humedad del hongo es el peso de agua que contiene en función de su peso seco. Para determinar el contenido de humedad de la muestra del *Suillus luteus* se utilizó un analizador automático de humedad (ADAM, modelo AMB50) que funciona a base de radiación infrarroja.

Procedimiento

- a. Se encendió el analizador automático de humedad.
- b. Se pesó 1g de muestra (hongo fresco).
- c. Se programó a una T° de 120°C.
- d. Después de aproximadamente media hora se apagó automáticamente reportando la humedad del hongo fresco.

2.2.1.2 Determinación de proteínas

Se empleó el método de Kjeldahl que se basa en la determinación del nitrógeno total, y en base a este determinar el porcentaje de proteínas presentes en el hongo.

Procedimiento

Digestión

- a. Se encendió el equipo compacto de digestión MBC/02 y se seleccionó 420°C como la temperatura de trabajo.
- b. Se colocó dentro del tubo del equipo 1g de muestra (w) + 5 g de catalizador (selenio, sulfato potásico y sulfato de cobre anhidro) + 15 mL de ácido sulfúrico concentrado.
- c. Se colocó el colector de humos y se encendió la campana extractora.
- d. Se colocó los tubos en el sistema calefactor cuando éste ha alcanzado la temperatura de trabajo.
- e. Se esperó entre 45 minutos a 1 hora para que termine la digestión.
El material contenido en el tubo se tornó de color verde esmeralda translúcido, lo cual indicó el final de la digestión.

- f. Se retiró los tubos del sistema calefactor y se dejó enfriar hasta aproximadamente 60 - 80°C.
- g. Se agregó inmediatamente 75 mL de agua destilada. Se dejó enfriar los tubos hasta temperatura ambiente.

Destilación

- a. Se colocó el tubo de muestra en el soporte del destilador de nitrógeno DNP-2000.
- b. Se agregó en una matraz de 250 mL, 25mL de solución (ácido bórico + indicador mixto (rojo de metilo, alcohol etílico, ácido clorhídrico y verde bromocresol)) y se sumergió en éste el tubo de salida del destilador.
- c. Se programó en 2 minutos el reloj controlador de NaOH y se presionó el botón START del equipo, automáticamente se agregó 80mL de NaOH al tubo de muestra, pasado este tiempo se regresó el reloj a cero.
- d. Se programó en 8 minutos el reloj controlador de DESTILACIÓN y se presionó el botón START del equipo, automáticamente empezó la destilación de la muestra durante el tiempo programado, pasado este tiempo se regresó el reloj a cero.
- e. Se recogió el producto de la destilación en el matraz hasta un volumen de 150mL, tomando una coloración verde claro.
- f. Se programó en 10 minutos el reloj controlador de SUCCIÓN y se presionó el botón START del equipo, automáticamente empezó la succión del residuo contenido en el tubo de muestra durante el tiempo programado, pasado este tiempo se regresó el reloj a cero.

- g. Se llenar el tubo con agua destilada y se repitió el paso anterior.
- h. Se retiró el matraz del equipo para realizar la titulación.

Titulación

- a. Se llenó la bureta automática con HCl 0,25N y se tituló hasta un viraje de color palo de rosa.
- b. Se calculó el porcentaje de nitrógeno mediante la siguiente ecuación:

$$\%N = 100 \left[\frac{0.014(V * N)}{W} \right] \quad (1)$$

Donde:

%N: porcentaje de nitrógeno

V: volumen

W: peso de muestra (g)

El porcentaje de proteína se calculará mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ proteína} = \% N * f$$

Donde:

f: Factor para alimentos en general: 6,25

2.2.1.3 Determinación de pH

Se determinó con cinta universal de pH, porque se midió directamente en el sombrero de un hongo, el que se cortó en forma de cruz y dentro de este corte se colocó la cinta mencionada.

2.2.1.4 Determinación de azúcares reductores

Se empleó el reactivo de Fehling, que consta de dos soluciones: Fehling A y Fehling B. Al momento de emplearlo se mezclan en

cantidades iguales, dando una solución acuosa de color azul. Cuando a este reactivo se le adiciona un azúcar reductor como la glucosa y en seguida se lo calienta, aparece un precipitado rojo, naranja o amarillo.

Fehling A: CuSO_4 disuelto en agua

Fehling B: NaOH, tartrato de sodio y potasio, disueltos en agua.

Procedimiento

- a. Se colocó en un tubo de ensayo 1 mL de Fehling A y 1 mL de Fehling B.
 - B. Se agitó para homogenizar.
- b. Se presionó con los dedos un trozo del hongo fresco y el líquido extraído se adicionó al tubo de ensayo.
- c. La muestra del tubo de ensayo se calentó utilizando un mechero hasta obtener un cambio de color.

2.2.1 Cinética de secado del hongo *Suillus luteus*

Al inicio de cada corrida experimental se prefijó la temperatura y la velocidad del aire de acuerdo a lo planificado para esta investigación. En seguida se pesó el soporte junto con las tres bandejas de malla metálica. Para cada par temperatura – velocidad del aire, se realizaron pruebas por triplicado y se reportaron los mejores resultados de cada par ensayado.

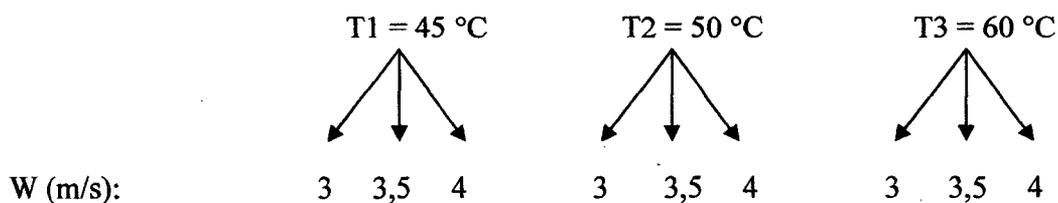


Figura 6. Plan experimental, a cada temperatura se evaluaron tres velocidades del aire de secado.

Se empleó hongos frescos, los que fueron pesados, lavados, pelados y cortados con cuchillo en rodajas de 0,3 cm de espesor aproximadamente, retirando el himenio. Las rodajas se colocaron ordenadamente sobre cada una de las tres bandejas de malla metálica del secador con aire caliente de bandejas del Laboratorio de Ingeniería de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (Anexo 2).

Para secar los hongos se empleó una corriente de aire forzado por un soplador de velocidad regulable que permitió fijar cada una de las velocidades de trabajo (3,0; 3,5 m/s y 4,0 m/s) las que se midieron con un anemómetro digital en la boca de salida del aire después de haber pasado por la cámara de secado. El aire pasó a través de un ducto que tiene cuatro resistencias eléctricas de 1500 W cada una, donde se calentó hasta la temperatura de trabajo de esta investigación (45, 50 y 60°C), la que se midió en la cámara de secado, se reguló y estabilizó mediante un sensor-controlador electrónico de temperatura. El aire caliente ingresó inmediatamente a la cámara de secado. El soporte de las bandejas se colgó de una balanza de triple brazo ubicada sobre la cámara de secado, con la cual se midió la masa del conjunto (soporte, bandejas y rodajas de hongo) cada 5 minutos (P1), desde el inicio de la operación de secado (tiempo cero) hasta el final (115 minutos como máximo), tiempo en el cual se habrá reducido la humedad de las rodajas de hongo hasta su humedad de equilibrio. Al final de este tiempo, las rodajas de hongo de las tres bandejas se colocaron en la estufa a 90 °C, en cajas de papel, para secarlas hasta peso constante, para determinar el peso seco del hongo (S). Los

datos experimentales se registraron y procesaron como se muestra en la sección resultados y en el Anexo 3, 4 y 5.

El diagrama de flujo del secado del hongo *Suillus luteus* se muestra en la Figura 7. Cada etapa se describe a continuación:

- **Hongo fresco:** se cosechó 10 kg de hongos *Suillus luteus* en su estado adulto, utilizando un cuchillo para cortarlo en la parte del pie, teniendo en cuenta que estén sanos y limpios de cualquier materia extraña visible.
- **Pesado:** se pesó la cantidad de hongos que serán sometidos al secado con la finalidad de registrar la pérdida de peso y con ello el de la humedad.
- **Lavado:** los hongos fueron lavados con agua potable para eliminar restos de impurezas que puedan estar impregnados en la cutícula del hongo.
- **Pelado:** mediante el pelado se elimina la piel o cutícula del sombrero de los hongos, eliminando también las laminillas, obteniendo la parte comestible.
- **Cortado:** luego de obtener la parte comestible se pasó a cortar en rodajas de 0,3 y 0,4cm; para esto se utilizó un cuchillo.
- **Secado:** esta operación se realizó en el secador de bandejas hasta obtener hongo deshidratado. Se trabajó a tres temperaturas ($T_1=45^{\circ}\text{C}$, $T_2=50^{\circ}\text{C}$ y $T_3=60^{\circ}\text{C}$) y a tres velocidades del aire de secado ($W_1=3,0$; $W_2=3,5$ y $W_3=4,0$ m/s), se realizaron pesadas cada 5 minutos hasta peso casi constante.
- **Envasado:** se envasó al vacío 20 a 50 g de hongos secos en bolsas de polietileno.

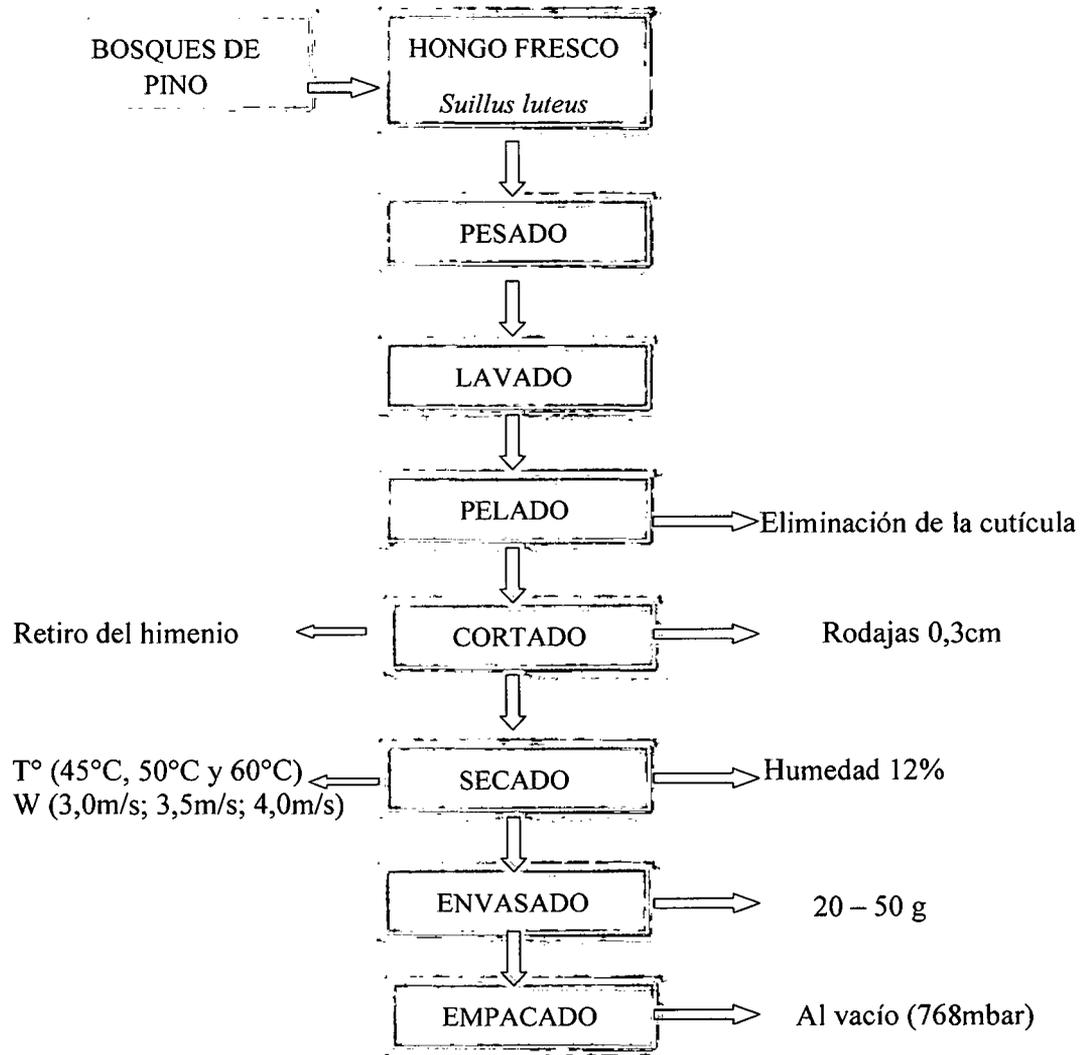


Figura 7. Plan experimental del secado del hongo *Suillus luteus*.

2.2.3 Caracterización físico - química del hongo *Suillus luteus* seco

2.2.3.1 Determinación de proteínas

Se utilizó el método de Kjeldahl, cuyo procedimiento se explicó en la sección 2.2.1.2.

2.2.3.2 Determinación de cenizas

Las cenizas están constituidas por el residuo inorgánico que queda después que la materia orgánica se ha calcinado. Las cenizas presentes en el hongo seco, se determinaron mediante una calcinación, primero sobre una llama baja hasta que la materia orgánica quedó carbonizada y luego en un horno mufla a 700°C por un tiempo de 3 horas.

Procedimiento

- a. Se puso a peso constante un crisol de porcelana, lo cual significó dejarlo durante 15 minutos en la mufla a una temperatura de 700°C.
- b. Se dejó enfriar el crisol de porcelana en un desecador durante 15 a 20 minutos. Se procuró no cerrar el desecador totalmente, para que el calor del crisol no provoque que la tapa se proyecte y se rompa.
- c. Se pesó el crisol de porcelana en la balanza analítica y se anotó el peso.
- d. Se pesó 3 g de hongo deshidratado en el crisol previamente tarado.
- e. Se registró el peso exacto con cuatro cifras significativas.
- f. Se colocó el crisol de porcelana en la plancha de calentamiento de la cocina eléctrica hasta sequedad. Luego se llevó el crisol a la mufla por un tiempo de 3 horas, a una temperatura de 700°C.

g. Transcurrido el tiempo indicado se retiró el crisol de la mufla, se dejó enfriar en un desecador y se pesó. Se realizó pesadas sucesivas hasta que el peso fue constante en tres ocasiones.

2.2.4 Control de calidad

2.2.4.1 Parámetros organolépticos

Se realizó una caracterización organoléptica del producto obtenido.

Normas de calidad

En Estados Unidos, los frutos son calificados de acuerdo al grado de calidad, según el color existiendo tres categorías para los hongos secos procedentes de otros países.

El color del hongo puede variar en tres niveles:

- Amarillo-----Calidad A
- Café Claro-----Calidad B
- Café oscuro-----Calidad C

Estándares de calidad

Se seleccionó y clasificó el producto de acuerdo a la especificación indicada en la Tabla 2.

Tabla 2. Estándares sensoriales de *Suillus luteus*.

APARIENCIAS	Rebanadas y en piezas color amarillo a café oscura. Sin piezas muy pequeñas, tierra, polvo o cuerpos extraños. Según el estándar aprobado. CLASE A: Especial, amarillo, tamaño variable hasta 9 cm. CLASE B: color café claro, tamaño variable hasta 9 cm. CLASE C: color café oscuro, tamaño variable hasta 9 cm.
SABOR/GUSTO	Típico de <i>Suillus luteus</i> seco, sin sabores raros. Según el estándar aprobado.

Fuente: Fundación Grupo Juvenil Salinas Ficha Técnica- Ayala, 2006.

Tabla 3. Parámetros de calidad del *Suillus luteus* seco.

ANÁLISIS	TOLERANCIA MÁXIMA
Humedad	<12 %
Cuerpos extraños	Ausentes
Total piezas defectuosas o malas	<30%
Impurezas minerales	<2%
Impurezas vegetales orgánicas	<0,02%
Con caminos de larva	Ausencia
Total aflatoxinas	<4 ug/Kg.
Aflatoxinas B1	<2 ug/Kg.
Preservantes	Ausencia

Fuente: Fundación Grupo Juvenil Salinas Ficha Técnica- Ayala, 2006.

2.2.5 Modelo matemático de la cinética de secado del hongo *Suillus luteus*

Se tomó como base los resultados experimentales de la determinación de la cinética de secado del hongo *Suillus luteus*, los cuales fueron procesados con el software estadístico SPSS 15.0 para Windows, para obtener las ecuaciones correspondientes a la parte lineal y a la parte no lineal de cada una de las curvas de secado (humedad residual vs tiempo), obtenidas en el presente trabajo de investigación. El software SPSS permitirá determinar la ecuación de la recta correspondiente a la parte lineal; para la parte no lineal se determinará si se ajusta mejor a una curva logarítmica o a una curva exponencial, lo cual se decidirá en función a si la curva trazada contiene a la mayoría de los datos experimentales correspondientes y al análisis estadístico que también lo realiza este software. Las ecuaciones obtenidas se constituyen en el modelo matemático de la cinética de secado del *Suillus luteus* a cada una de las temperaturas y velocidades del aire de secado ensayadas.

III. RESULTADOS

3.1 Caracterización del hongo *Suillus luteus* en fresco

La caracterización del hongo se hizo en base a los componentes más relevantes.

Los valores promedio se reportan en la Tabla 4.

Tabla 4. Caracterización fisicoquímica en 100 g del hongo fresco.

Componente	Valor
Humedad (%)	91,66
Proteínas (g)	4,38
pH	6

Fuente: elaboración propia

3.2 Cinética de secado del hongo *Suillus luteus*

El peso de rodajas del hongo cada 5 minutos (t) se calculó con la siguiente fórmula:

$$P2 = P1 - SB$$

Para calcular la humedad residual de las rodajas del hongo cada 5 minutos se empleó la siguiente fórmula: $Y = (P2 - S)/S$

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

Para calcular la humedad residual promedio (Y_m) se empleó la siguiente fórmula:

$$Y_m = (Y_i - Y_{i+1})/2$$

Los resultados experimentales de las repeticiones realizadas para cada par temperatura-velocidad del aire de secado mostraban la misma tendencia por lo que se consideraron únicamente como una confirmación. Los resultados de las

corridas experimentales de secado de rodajas de hongos realizadas con temperatura de 45°C y velocidades de 3, 3,5 y 4m/s se muestran en la Figura 8 (datos experimentales en el Anexo 3) donde se aprecia que la humedad crítica (Yc) fue 12,2 g agua/g hongo seco y la humedad de equilibrio (Yeq) fue 0,95g agua/g hongo seco, valores que no variaron a pesar de haber empleado diferentes velocidades de aire de secado, manteniendo constante la temperatura. El tiempo crítico (tc) de secado disminuyó conforme aumentó la velocidad del aire de secado. Los valores de humedad del hongo fresco al inicio fueron similares. Se presentan las curvas en una sola figura para visualizar la diferencia entre ellas y que la humedad crítica y la humedad de equilibrio se mantienen constantes pero el tiempo crítico va disminuyendo al aumentar la velocidad del secado.

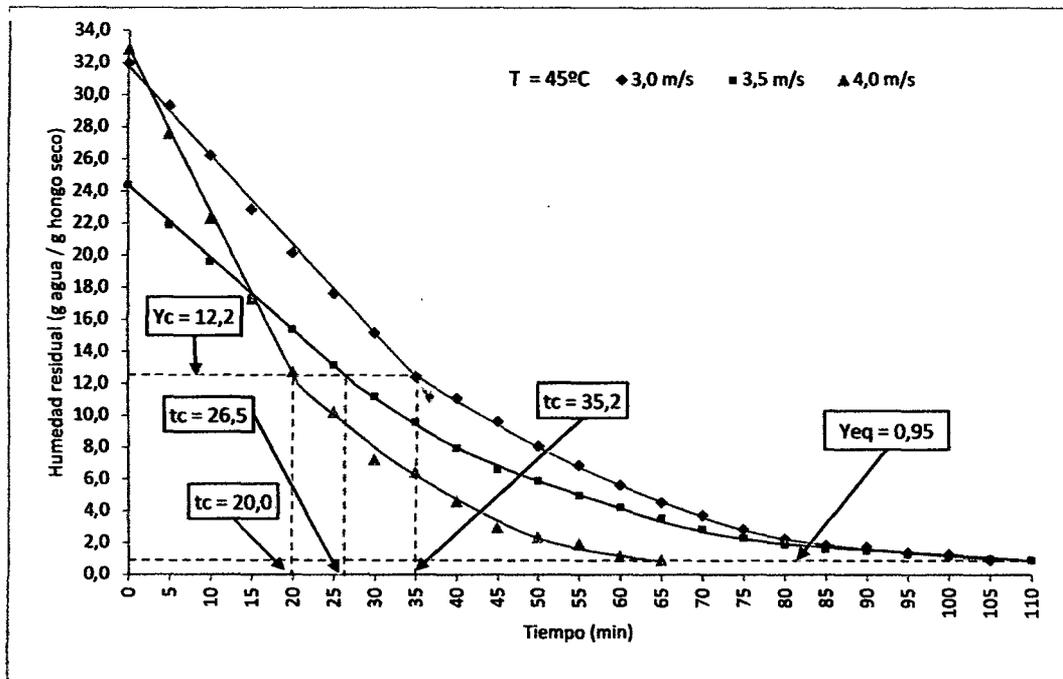


Figura 8. Humedad residual en función del tiempo (T1=45°C; W1=3,0 m/s; W2=3,5 m/s; W3=4,0 m/s)

Los resultados de las corridas experimentales de secado de rodajas de hongo realizadas con temperatura de 50 °C y velocidades de 3, 3,5 y 4 m/s se muestran en la Figura 9 (datos experimentales en el Anexo 4); donde se aprecia la misma tendencia que en la Figura 8 pero la humedad crítica fue 10,8 g agua/g hongo seco y la humedad de equilibrio fue 0,80 g agua/g hongo seco.

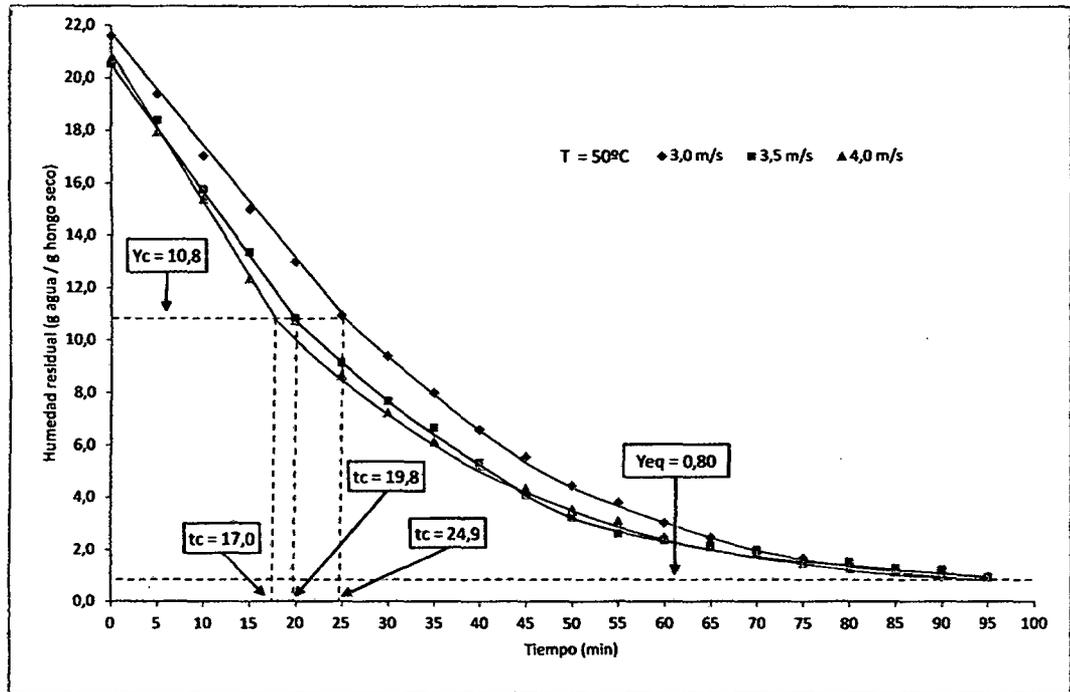


Figura 9. Humedad residual en función del tiempo ($T_2=50^\circ\text{C}$; $W_1=3,0$ m/s; $W_2=3,5$ m/s; $W_3=4,0$ m/s)

Los resultados de las corridas experimentales de secado de rodajas de hongo realizadas con temperatura de 60 °C y la velocidad de 3,0 m/s se muestran en la Tabla 5 y en la Figura 10 los resultados obtenidos a las tres velocidades ensayadas (datos experimentales en el Anexo 5), donde se aprecia que la humedad crítica fue 7,5 g agua/g hongo seco y la humedad de equilibrio fue 0,2 g agua/g hongo seco, valores que se mantuvieron constantes a pesar de haber empleado diferentes velocidades del aire de secado.

Tabla 5. Datos experimentales de la operación de secado de rodajas de hongo *Suillus luteus*, en secador de bandejas con flujo de aire a 60°C y velocidad de 3,0 m/s.

(SB = 1496,7g; S = 7,28g).

	t	P1	P2=P1 - SB	(P2-S)/S		
Nº	Tiempo (min)	Peso de la estructura + hongo al tiempo t (g)	Peso de rodajas de hongo al tiempo t (g)	Humedad residual (g agua/g hongo seco)	dy/dt (g agua/g ss,min)	Ym (g agua/g hongo seco)
1	0	1602.4	105.2	13.45	0.26	12.52
2	5	1588.9	91.7	11.60	0.27	10.66
3	10	1575.3	78.1	9.73	0.25	9.10
4	15	1566.1	68.9	8.46	0.27	7.80
5	20	1556.4	59.2	7.13	0.21	6.60
6	25	1548.6	51.4	6.06	0.20	5.57
7	30	1541.4	44.2	5.07	0.17	4.65
8	35	1535.3	38.1	4.23	0.15	3.86
9	40	1529.9	32.7	3.49	0.14	3.14
10	45	1524.8	27.6	2.79	0.10	2.54
11	50	1521.1	23.9	2.28	0.08	2.09
12	55	1518.3	21.1	1.90	0.07	1.71
13	60	1515.6	18.4	1.53	0.06	1.38
14	65	1513.5	16.3	1.24	0.06	1.05
15	70	1510.7	13.5	0.85	0.05	0.81
16	75	1510.0	12.8	0.76	0.04	0.74
17	80	1509.8	12.6	0.73	0.04	0.63
18	85	1508.4	11.2	0.54	0.03	0.46
19	90	1507.3	10.1	0.39	0.02	0.35
20	95	1506.7	9.5	0.30	0.00	0.30
21	100	1506.7	9.5	0.30	0.00	0.30
22	105	1506.6	9.4	0.29	0.00	0.29
23	110	1506.6	9.4	0.29	0.03	0.22
24	115	1505.5	8.3	0.14	0.03	0.07

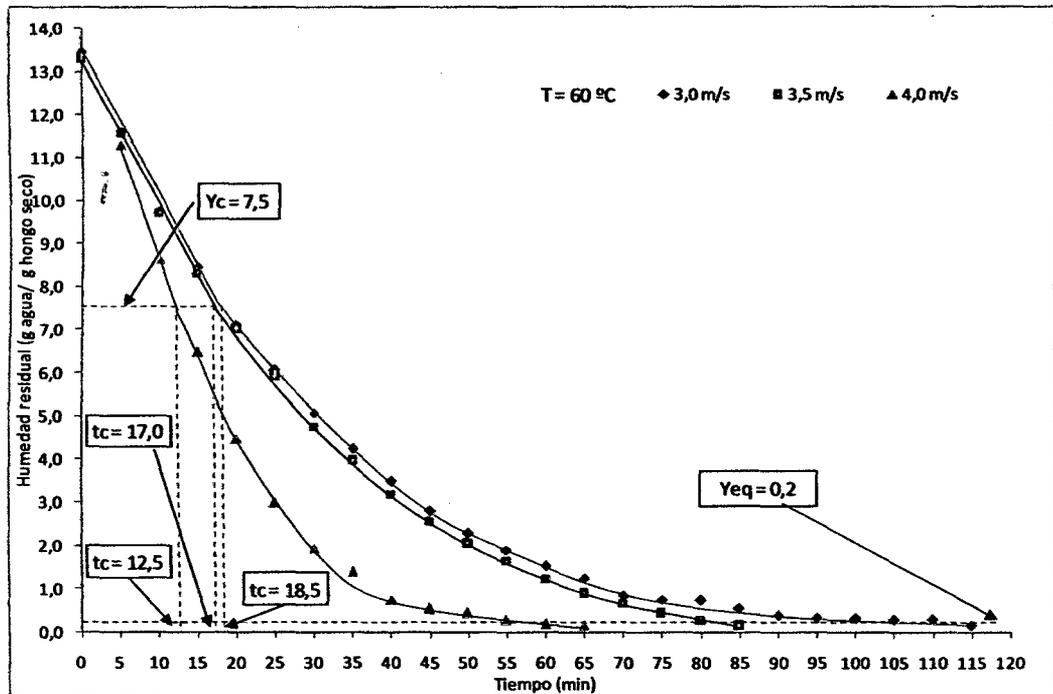


Figura 10. Humedad residual en función del tiempo ($T_3=60^\circ\text{C}$; $W_1=3,0$ m/s; $W_2=3,5$ m/s; $W_3=4,0$ m/s).

Al inicio del secado, la muestra se coloca en la cámara del secador a una temperatura menor a la de esta cámara; debido a ello, los datos iniciales tienden a generar una curva por lo que se desprecian, los siguientes datos recién se ajustan a una recta y son los que interesan. A esta primera etapa del secado se le denomina período de inducción donde se produce un calentamiento del producto, adaptándose el material a las condiciones del secado y dado que su duración es muy corta con respecto al tiempo total de secado, no se toma en cuenta para el diseño de secadores industriales (Ibarz y otros, 2000). La característica que muestran las curvas de secado, cuando se grafica la humedad residual vs tiempo, es una sección recta que corresponde a la etapa de secado a velocidad constante y una sección curva que corresponde a la etapa de secado a

velocidad decreciente. Cuando termina la sección recta y se inicia la curva, se lee en la gráfica el tiempo crítico (t_c) y la humedad crítica (Y_c). Al final la curva tiene un comportamiento asintótico con el eje de las abscisas (tiempo) y permite leer en la gráfica la humedad de equilibrio (Y_{eq}).

Las Figuras 11 a la 13 corresponden a las gráficas de velocidad de secado (dY/dT) vs humedad residual promedio (Y_m), para cada una de las temperaturas ensayadas. Puede observarse que los valores de los parámetros cinéticos t_c , Y_c y Y_{eq} leídos de las Figuras 8 a la 10, concuerdan con los leídos de las Figuras 11 a la 13.

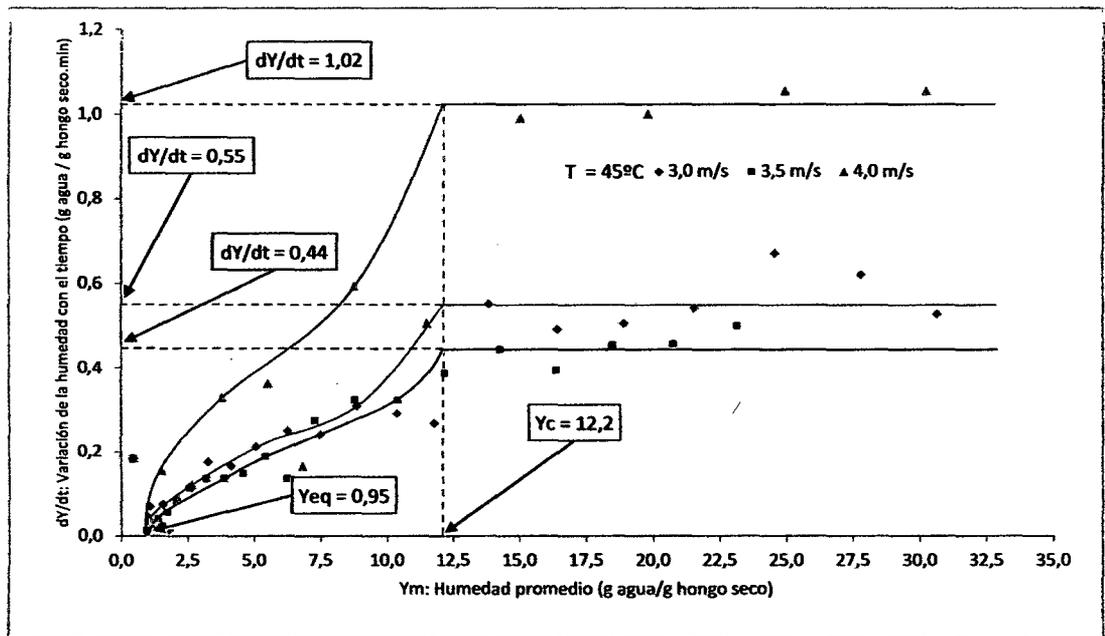


Figura 11. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio ($T_1=45^\circ\text{C}$; $W_1=3,0 \text{ m/s}$; $W_2=3,5 \text{ m/s}$; $W_3=4,0 \text{ m/s}$).

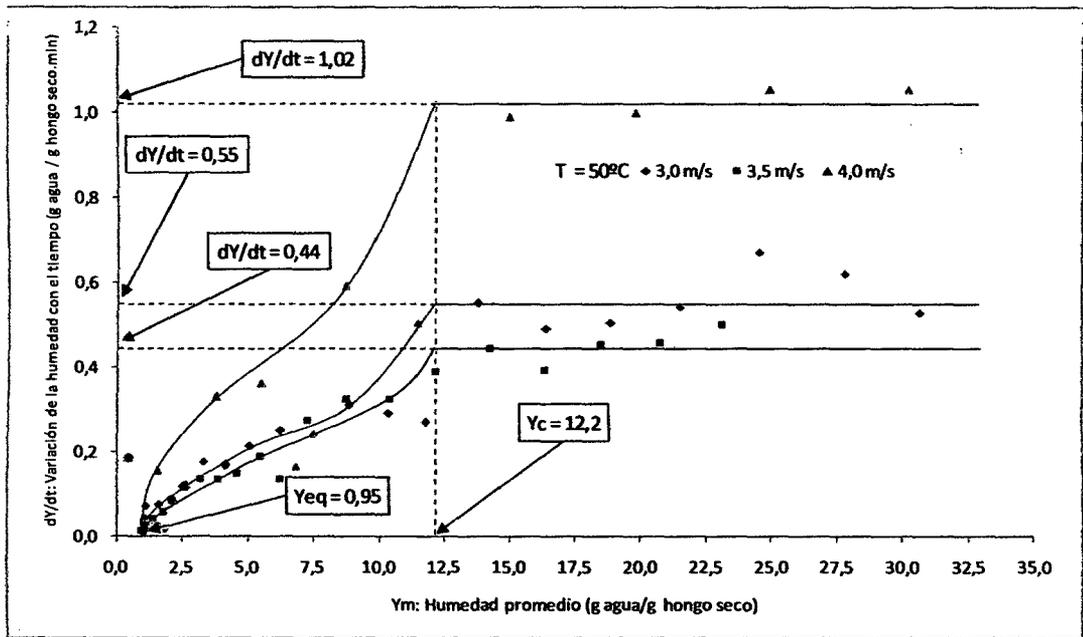


Figura 12. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio ($T_2=50^\circ\text{C}$; $W_1=3,0$ m/s; $W_2=3,5$ m/s; $W_3=4,0$ m/s).

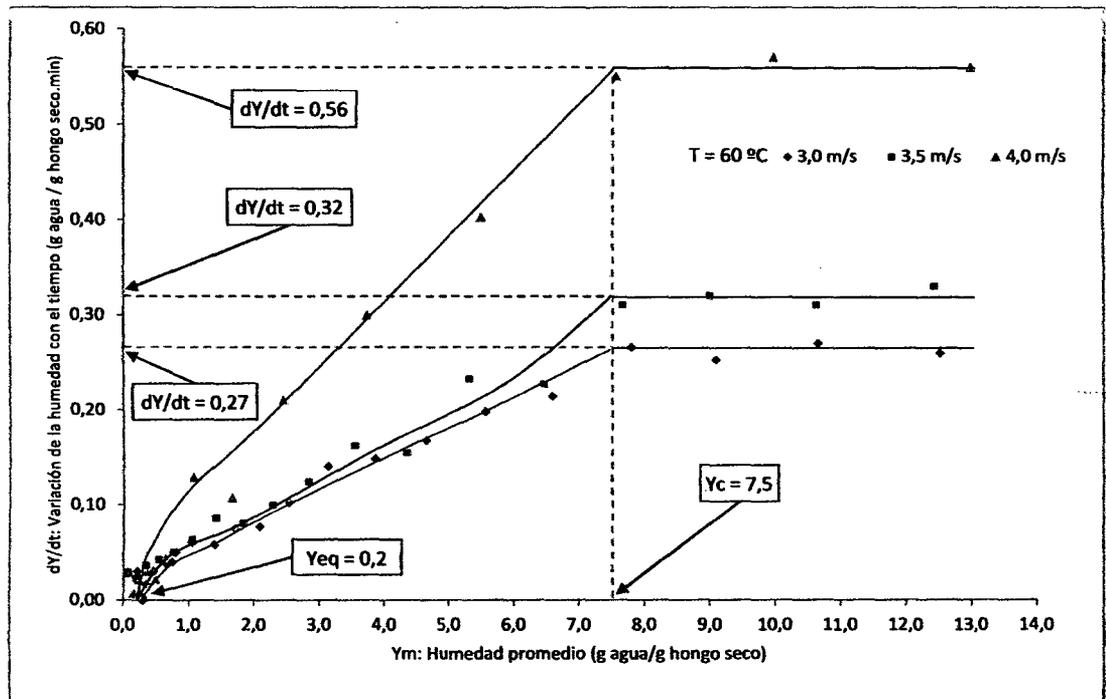


Figura 13. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio ($T_3=60^\circ\text{C}$; $W_1=3,0$ m/s; $W_2=3,5$ m/s; $W_3=4,0$ m/s).

En las Figuras 11 a la 13, el tramo recto horizontal es el período de velocidad constante de secado. Al inicio, la superficie del producto se encuentra muy húmeda, el agua eliminada en la superficie es compensada por el flujo de agua desde el interior del sólido. El periodo de velocidad constante continúa mientras el agua evaporada en la superficie pueda ser compensada por lo que se encuentra en el interior. En el periodo de velocidad decreciente, la velocidad de secado está gobernada por el flujo interno del agua y vapor (Ibarz y Barbosa-Cánovas, 2005).

No fue necesario hacer mediciones de color porque el hongo *Suillus luteus* seco presentaba diferencias visuales de color amarillo muy marcadas con las condiciones de secado ensayadas. En función de la conservación de color amarillo más acentuado de las rodajas de hongo seco, se debe trabajar con aire de secado a una temperatura de 60 °C y velocidad de 3,0 m/s; con estas condiciones del aire, el tiempo crítico de secado fue de 18,5 minutos (Figura 10), la humedad crítica de 7,5 g agua/g hongo seco, la humedad de equilibrio de 0,2 g agua/g hongo seco y la velocidad de secado fue de 0,27 g agua/g hongo seco.minuto (Figura 13); estos son los parámetros cinéticos que se pueden emplear para diseñar un secador de bandejas para secar hongo *Suillus luteus* en rodajas. La humedad inicial promedio del hongo fue de 91,66 % en base seca, a estas condiciones de secado, en 115 minutos se reducirá esta humedad hasta el 12,29 % en base húmeda, para facilitar su empaque al vacío seguro como hongo seco.

Si se seca las rodajas de hongo hasta una humedad menor a 12 %, ya no se puede rehidratar para emplearlo como alimento similar al hongo fresco.

3.3 Caracterización del producto final y control de calidad

3.3.1 Descripción física

Hongo deshidratado natural, sin conservantes.

3.3.2 Características sensoriales

En la Tabla 6, se muestran las características sensoriales de los hongos secos.

Tabla 6. Caracterización sensorial de los hongos deshidratados.

Característica	Descripción
Tamaño	Irregular de 4 a 8 cm de largo
Apariencia	Irregular, similar a chifles de plátano
Color	Amarillo
Olor	Semejante a chifle de plátano
Consistencia	Semicrocante

Fuente: elaboración propia

3.4 Características fisicoquímicas del hongo seco

La caracterización fisicoquímica de los hongos deshidratados se hizo en base a los componentes más relevantes. Los valores promedio se reportan en la Tabla 7.

Tabla 7. Caracterización fisicoquímica en 100 g de hongos deshidratados.

Componente	Valor
Humedad (%)	12
Proteínas (g)	15,53
Cenizas (g)	5,5

Fuente: elaboración propia

3.5 Modelo matemático de la cinética de secado del hongo *Suillus luteus*

Los resultados experimentales de la determinación de la cinética de secado del hongo *Suillus luteus* fueron procesados con el software estadístico SPSS 15.0 para Windows, para obtener las ecuaciones correspondientes a la parte lineal y a la no lineal de cada una de las curvas de secado obtenidas en el presente trabajo de investigación. En la Tabla 8 se muestran dichas ecuaciones, las cuales se constituyen en el modelo matemático de la cinética del secado del hongo *Suillus luteus* a cada una de las temperaturas y velocidades del aire de secado ensayadas.

Tabla 8. Ecuaciones correspondientes a la parte recta y a la parte curva de cada una de las gráficas de secado obtenidas con los datos experimentales analizados con el software SPSS y sus parámetros cinéticos (Anexo 3, 4 y 5).

Temperatura del aire (°C)	Velocidad del aire (m/s)	Ecuación de la parte recta	R ²	Tiempo crítico (min)	Humedad crítica (g agua/g hongo seco)	Ecuación de la parte curva	R ²	Humedad de equilibrio (g agua/g hongo seco)
45	3,0	$y = -0,562x + 31,800$	0,998	35,2	12,2	$y = 54,799e^{(-0,039x)}$	0,995	0,95
	3,5	$y = -0,446x + 24,189$	0,999	26,5		$y = 29,031e^{(-0,033x)}$	0,994	
	4,0	$y = -1,010x + 32,650$	0,999	20,0		$y = 48,781e^{(-0,061x)}$	0,991	
50	3,0	$y = -0,426x + 21,478$	0,999	24,9	10,8	$y = 31,183e^{(-0,039x)}$	0,999	0,8
	3,5	$y = -0,488x + 20,656$	0,999	19,8		$y = 18,068e^{(-0,032x)}$	0,979	
	4,0	$y = -0,512x + 20,552$	0,992	17,0		$y = 19,176e^{(-0,033x)}$	0,995	
60	3,0	$y = -0,337x + 13,336$	0,993	18,5	7,5	$y = 16,442e^{(-0,040x)}$	0,989	0,2
	3,5	$y = -0,339x + 13,260$	0,997	17,0		$y = 28,388e^{(-0,056x)}$	0,965	
	4,0	$y = -0,668x + 14,650$	1,000	12,5		$y = 19,912e^{(-0,078x)}$	0,997	

IV. DISCUSIÓN

En base a las Figuras 8 hasta la 10, se puede asegurar que a mayor velocidad del aire de secado, menor tiempo crítico; y para cada una de las temperaturas ensayadas, las humedades crítica (Y_c) y de equilibrio (Y_{eq}) no varían con el incremento de la velocidad, como se observa en las Figuras 11 a la 13. Esto concuerda con lo encontrado por Vernon (2000).

Se puede deducir que a mayor temperatura del aire de secado, sin que influya la velocidad del aire, la humedad crítica disminuye al igual que la humedad de equilibrio. Esto se debe a que a mayor temperatura, la humedad superficial es retirada más rápido de lo que migra del interior del cuerpo hacia su superficie, debido a que el hongo tiene una carne esponjosa.

Según Vega y Lemus (2006), Las curvas de secado tienen función lineal en el periodo de velocidad constante para cada una de las temperaturas ensayadas y los diferentes valores de velocidad del aire evaluados, como se observa en las figuras 08, 09 y 10 de los resultados.

En las Figuras 11, 12 y 13, el tramo recto horizontal corresponde al período de velocidad constante de secado, y está asociado a la eliminación del agua no ligada a las rodajas de hongo, en el que el agua se comporta como si el sólido no estuviera presente. Al inicio, la superficie de cada rodaja de hongo se encuentra muy húmeda, el agua eliminada en la superficie es compensada por el flujo de agua desde el interior de la rodaja. El periodo de velocidad constante continúa mientras el agua evaporada en la superficie pueda ser

compensada por la que se encuentra en el interior. El periodo de velocidad decreciente se da cuando la velocidad de secado no se mantiene constante y empieza a disminuir; en esta etapa, la velocidad de secado está gobernada por el flujo interno del agua y vapor, se representa por la línea curva que baja hasta cortar el eje de las abscisas. Este período se puede dividir en dos partes: la primera se da cuando los puntos húmedos en la superficie de las rodajas de hongo disminuyen continuamente hasta que la superficie está completamente seca, luego ocurre una inflexión que representa la segunda parte de este periodo donde el plano de evaporación se traslada al interior de las rodajas de hongo. El calor requerido para eliminar la humedad es transferido a través de las rodajas hasta la superficie de evaporación, y el vapor de agua producido se mueve a través de las rodajas en la corriente de aire que va hacia la superficie. A veces no hay diferencias remarcables entre estas dos partes del periodo de velocidad decreciente (Ibarz y Barbosa-Cánovas, 2005).

De manera general, se puede decir que a velocidades del aire de secado mayores o iguales a 3,0 m/s y a cualquiera de las temperaturas del aire empleadas (45, 50 y 60°C), la curva de velocidad decreciente de secado es mejor representada por una ecuación exponencial, similar a lo encontrado por Vega y Lemus (2006).

El tiempo crítico de secado más bajo fue de 12,5 minutos al trabajar con aire a 60 y 4,0 m/s; y el tiempo crítico más alto fue de 35,2 minutos al trabajar con aire a 45 °C y 3,0 m/s. Por lo que para reducir el tiempo de secado debe trabajarse a mayor temperatura, pero teniendo el cuidado de no afectar la calidad del hongo seco.

A menor velocidad del aire de secado, a temperatura constante, se observó que el color del hongo seco es amarillo más acentuado; por lo que será recomendable secar el hongo *Suillus luteus* con aire a la temperatura de 60 °C y velocidad de 3,0 m/s, que dará un tiempo crítico de 18,5 minutos. A estas condiciones de trabajo, a los 115 minutos de operación del secador de bandejas, la rodaja de hongo habrá bajado su humedad promedio de 91,66 % (en base seca) hasta la humedad de 12 % en base húmeda, que es el valor adecuado para empacarlo al vacío y conservarlo por más tiempo. Con la temperatura de 45 °C a la misma velocidad, la pulpa de hongo tiende a obtener un color amarillo pálido.

Para obtener hojuelas secas de hongo *Suillus luteus*, que se puedan rehidratar para emplearlas en alimentación humana como ingrediente blando. Se decidió secar las rodajas de hongo hasta 12 % de humedad en base húmeda, pues si se seca hasta 8 % según lo realizado por Lira (1989), las hojuelas ya no se rehidratan, pero si se pueden moler para obtener harina de estos hongos y emplearla como suplemento en panificación.

La menor velocidad del aire implica mayor tiempo de secado, por tanto, mayor consumo de energía eléctrica para el funcionamiento del soplador y de las resistencias eléctricas para calentar el aire hasta la temperatura de trabajo. Si se realiza la operación de secado de hongo a la velocidad de 4,0 m/s, el tiempo de secado es menor y en consecuencia la operación será más económica.

V. CONCLUSIONES

- 1- La mayor temperatura y la mayor velocidad del aire en la operación del secador de bandejas, reduce el tiempo de secado.
- 2- Para el periodo de velocidad decreciente, en el presente trabajo de investigación se ha encontrado que a todas las temperaturas y velocidades de aire ensayadas, la ecuación representativa es exponencial.
- 3- El mejor color del hongo "*Suillus luteus*" seco es un color amarillo bien acentuado, y se obtiene con: el secado de rodajas de hongo de 0.3cm de espesor, en un secador de bandejas con aire a una temperatura de 60 °C y velocidad de 3,0 m/s.
- 4- Es suficiente secar la carne del hongo comestible durante 115 minutos en el secador de bandejas, con aire a 60 °C y 3 m/s, para que la humedad en base húmeda del hongo baje hasta 12%, lo que facilitará para su conservación y su rehidratación para el consumo como alimento fresco.
- 5- El contenido de proteína que tiene el hongo fresco es de 4,38 g y en el mejor hongo seco obtenido tiene 15,53 g, lo que nos da a entender que el hongo fresco tiene muy poca proteína por su mayor contenido de humedad.
- 6- De manera general, a velocidades del aire de secado mayores o iguales a 3,0m/s y a cualquiera de las temperaturas del aire empleadas (45, 50 y 60 °C), la curva de velocidad de secado decreciente es mejor representada por una ecuación exponencial.

VI. RECOMENDACIONES

- 1- Realizar más investigaciones utilizando este Hongo comestible (*Suillus luteus*), tratando de obtener otros productos como harina para suplemento en panificación, hongo confitado, etc.
- 2- Se debe seguir prácticas adecuadas de manipulación durante la recolección del hongo comestible, asimismo el tipo de envase y la temperatura para el transporte, para evitar pérdidas.
- 3- Los parámetros cinéticos del secado de hongo obtenidos en esta investigación permitirán diseñar un secador de bandejas para operación industrial, con el propósito de dar valor agregado a la producción del hongo comestible y aprovechar en la Región para exportación.
- 4- El Gobierno Regional debe incentivar la producción de este tipo de productos, mediante la capacitación de las comunidades en el aprovechamiento de los recursos no maderables de Amazonas, para que sin talar los bosques se pueda aprovechar las ventajas que brindan ciertas variedades como es el caso del *Pinus patula*.
- 5- Administrar este proyecto con un especialista en el campo de la Micología para garantizar la calidad del producto.
- 6- Crear una asociación de Ingenieros en Comercio Exterior que puedan conseguir financiamiento, asesoramiento y apoyo para pequeños proyectos que nacen en las universidades para su ejecución que no solo crearán fuentes de empleo sino también generar divisas para Amazonas.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AYALA, O., E. (2006).” *Proyecto de Prefactibilidad para la exportación de hongos secos (Suillus luteus) a Estados Unidos, periodo 2006-2010*”. Quito-Ecuador. Tesis, p.12-1 [citado 10 Febrero 2011]. Disponible en :
http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/973/1/COMEX_438.pdf
- BYUNG, S., K. (2005). “*Manejo Post-Cosecha. Almacenamiento y Procesado de los Hongos*”. Capítulo 9. Pag.208-213. [citado 05 Diciembre 2010]. Disponible en:
<http://www.hongoscomestibleslatinoamerica.com/P/P/oyster%20bien/capitulo%209%20pag.%20208-213.pdf>
- DONOSO, J. (1989). “*Antecedentes sobre hongos comestibles en Chile*”. Pontificia Universidad Católica de Chile, sede Regional Temuco. Temuco. Chile. 83 p.
- GRÜNERT, H.; GRÜNERT, R. (1984). *Guías de Naturaleza Blume: Setas (t. original: "Pilze")*. Barcelona: Blume. p. 220. ISBN 84-87535-11-9.
- IBARZ R., A., G. V. BARBOSA-CÁNOVAS. (2005).” *Operaciones Unitarias en la Ingeniería de Alimentos*”. Ediciones Mundi- Prensa. Madrid, España.

- IBARZ R., A., G. V. BARBOSA-CÁNOVAS, S. GARZA G. Y V. GIMENO A. (2000). *“Métodos Experimentales en la Ingeniería Alimentaria”*. Editorial ACRIBIA S. A. Zaragoza, España.
- Ing. M Sc. en Ciencias Ambientales MANUEL ROBERTO RONCAL RABANAL Docente de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca Perú y JUAN GUERRERO BARRANTES Ing. M Sc. Docente principal de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. (2009)
- IPINZA, R. Y F. BASCUR. (1984). *“Estudio de rendimiento y comercialización de hongos silvestres comestibles en la VI Región”*. Facultad de Cs. Agrarias, Veterinarias y Forestales. U. de Chile. 113 pp., Santiago, Chile. [citado 07 Enero 2011]. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/u9145S/u9145s05.htm>
- KOBOLD, M. (2000). *“Setas de prados y bosques: Como identificarlas, respetarlas, recogerlas y cocinarlas”*. Susaeta Ediciones, S.A. Madrid, España. 126 p
- LEWIS, J. (1993). *“Propiedades de los alimentos y de los sistemas de procesado”* Editorial Acribia, S. A., Zaragoza.

- LIRA, R. (1989). "*Procesamiento de Hongos Comestibles y Evaluación Técnico - Económica de una Planta Deshidratadora*". En Antecedentes sobre Hongos Comestibles en Chile. Adaptado por Carlos Ackerknecht Ihl. Pontificia Universidad Católica de Chile. Sede Regional Temuco. Carrera de Técnico Universitario Forestal. Temuco, Chile.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN FAO. COMITÉ FORESTAL DE LA FAO.
- PERRY, J. Y CHILTON, C. (1982). "*Manual del Ingeniero Químico*". Editorial McGraw-Hill. 2da. Edición. Bogotá.
- VEGA, A.A. Y R.A. LEMUS. (2006). "*Modelado de la Cinética de Secado de la Papaya Chilena (Vasconcellea pubescens)*". *Inf. tecnol.* [online]. Vol. 17, no.3 [citado 29 Enero 2011], p.23-31. Disponible en :
http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642006000300005&lng=es&nrm=iso. ISSN 0718-0764.
- VERNON C., J. (2000). "*Laboratorio de Operaciones Unitarias*". Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. México.

ANEXOS

ANEXO 1

Caracterización fisicoquímica del hongo *Suillus luteus* en fresco

- **Determinación de humedad**

El hongo fresco tiene 91,66% de humedad.



Fotografía 1. Analizador automático de humedad.

- **Determinación de proteínas**

$$\%N = 100 \left[\frac{0.014(V * N)}{W} \right]$$

Donde:

%N: porcentaje de nitrógeno **N:** normalidad del NaOH = 0,25N

V: volumen de NaOH=2mL **W:** peso de muestra= 1g

$$\%N = 100 \left[\frac{0.014(2 * 0.25)}{1} \right] = 0,7 \%N$$

El porcentaje de proteína se calculó con la ecuación: % proteína = % N * f

Siendo **f:** Factor para alimento= 6,25

% proteína = 0,7 x 6,25 = **4,375**



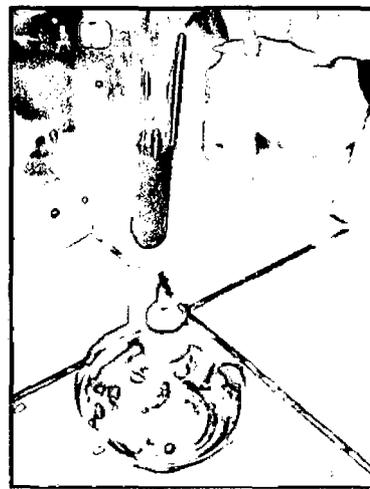
Fotografía 2. Análisis de proteína del hongo fresco.

- **Determinación de azúcares reductores**

Los hongos *Suillus luteus* frescos no tienen azúcares reductores, porque después de hacer la prueba no hubo cambio de color.



Fotografía 3. Ecurrido del jugo del hongo fresco.



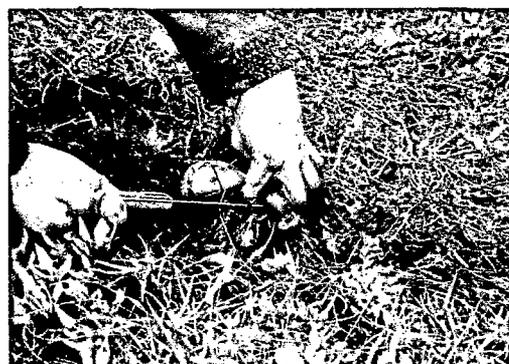
Fotografía 4. No hay cambio de color.

ANEXO 2

Operación de secado del hongo *Suillus luteus*



Fotografía 5. Hongo *Suillus luteus*.



Fotografía 6. Recolección del *Suillus luteus*.



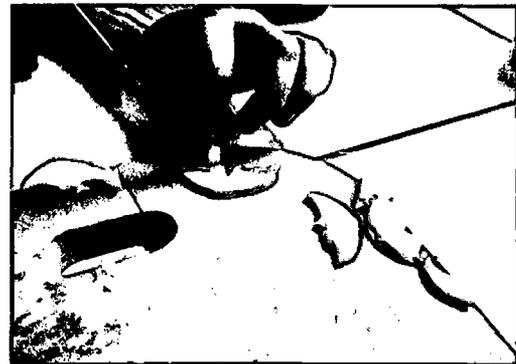
Fotografía 7. Pesado del *Suillus luteus*.



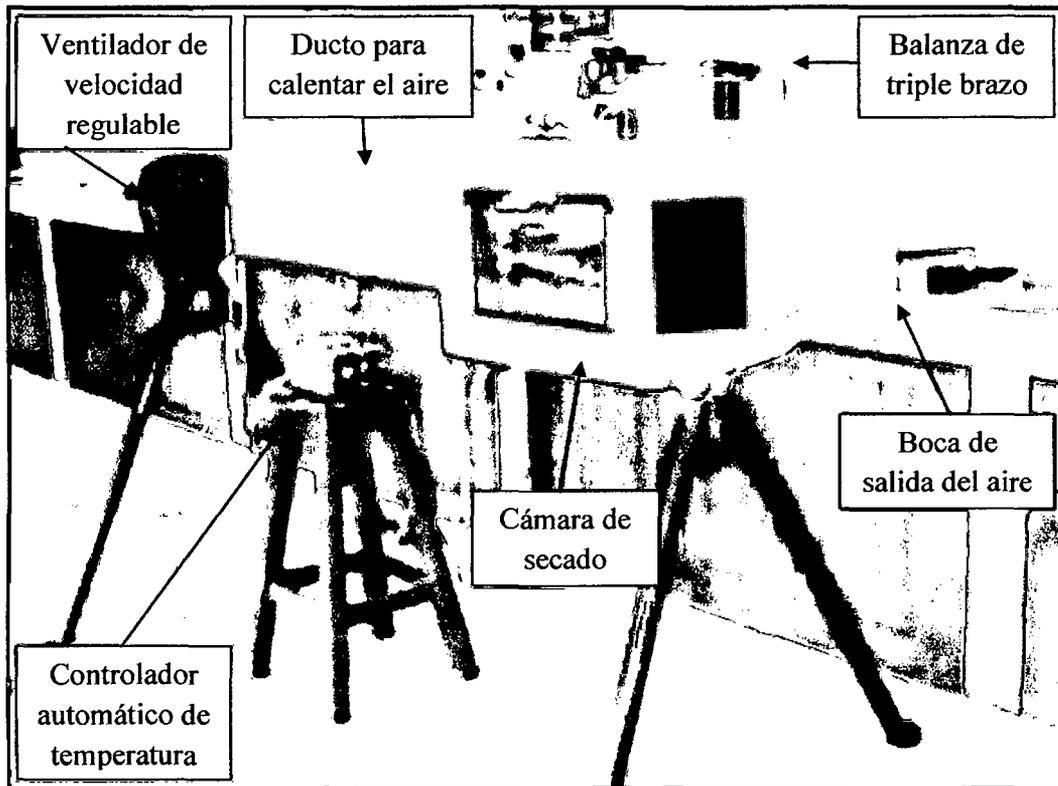
Fotografía 8. Lavado del *Suillus luteus*.



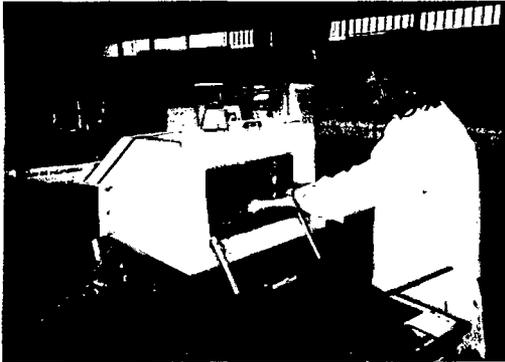
Fotografía 9. Pelado del *Suillus luteus*



Fotografía 10. Cortado en rodajas del *Suillus luteus*.



Fotografía 11. Secador de bandejas del Laboratorio de Ingeniería de la UNTRM-A.



Fotografía 12. Secado del *Suillus luteus*.



Fotografía 13. Medición de la velocidad del aire de secado con el anemómetro digital.



Fotografía 14. Envasado del *Suillus luteus*.



Fotografía 15. Empacado al vacío del *Suillus luteus*.

ANEXO 3

Datos experimentales para determinar la cinética y el modelo matemático del secado de *Suillus luteus* en secador de bandejas con flujo de aire a 45 °C y velocidad de 3,0; 3,5 y 4,0 m/s

Tabla 9. Datos experimentales de la operación de secado de rodajas de hongo *Suillus luteus*, en secador de bandejas con flujo de aire a 45 °C y velocidad de 3,0 m/s. (SB = 1497,8 g; S = 4,32 g).

Nº	t	P1	P2=P1 - SB	(P2-S)/S	dy/dt (g agua/g ss,min)	Ym (g agua/g hongo seco)
	Tiempo (min)	Peso de la estructura + hongo al tiempo t (g)	Peso de rodajas de hongo al tiempo t (g)	Humedad residual (g agua/g hongo seco)		
1	0	1640.2	142.4	31.96	0.53	30.64
2	5	1628.8	131	29.32	0.62	27.77
3	10	1615.4	117.6	26.22	0.67	24.54
4	15	1600.9	103.1	22.87	0.54	21.51
5	20	1589.2	91.4	20.16	0.50	18.90
6	25	1578.3	80.5	17.63	0.49	16.41
7	30	1567.7	69.9	15.18	0.55	13.80
8	35	1555.8	58	12.43	0.27	11.75
9	40	1550	52.2	11.08	0.29	10.35
10	45	1543.7	45.9	9.63	0.31	8.85
11	50	1537	39.2	8.07	0.24	7.47
12	55	1531.8	34	6.87	0.25	6.25
13	60	1526.4	28.6	5.62	0.21	5.09
14	65	1521.8	24	4.56	0.17	4.14
15	70	1518.2	20.4	3.72	0.18	3.28
16	75	1514.4	16.6	2.84	0.12	2.55
17	80	1511.9	14.1	2.26	0.09	2.04
18	85	1510	12.2	1.82	0.01	1.79
19	90	1509.7	11.9	1.75	0.07	1.57
20	95	1508.1	10.3	1.38	0.02	1.33
21	100	1507.6	9.8	1.27	0.07	1.09
22	105	1506.1	8.3	0.92	0.18	0.46

Tabla 10. Datos experimentales de la operación de secado de rodajas de hongo *Suillus luteus*, en secador de bandejas con flujo de aire a 45 °C y velocidad de 3,5 m/s.

(SB = 1496,5 g; S = 6,04 g).

Nº	t	P1	P2=P1 - SB	(P2-S)/S	dy/dt (g agua/g ss,min)	Ym (g agua/g hongo seco)
	Tiempo (min)	Peso de la estructura + hongo al tiempo t (g)	Peso de rodajas de hongo al tiempo t (g)	Humedad residual (g agua/g hongo seco)		
1	0	1649.8	153.3	24.38	0.500	23.131
2	5	1634.7	138.2	21.88	0.457	20.738
3	10	1620.9	124.4	19.60	0.454	18.462
4	15	1607.2	110.7	17.33	0.394	16.343
5	20	1595.3	98.8	15.36	0.444	14.248
6	25	1581.9	85.4	13.14	0.387	12.171
7	30	1570.2	73.7	11.20	0.325	10.391
8	35	1560.4	63.9	9.58	0.325	8.768
9	40	1550.6	54.1	7.96	0.275	7.270
10	45	1542.3	45.8	6.58	0.136	6.243
11	50	1538.2	41.7	5.90	0.189	5.432
12	55	1532.5	36	4.96	0.149	4.588
13	60	1528	31.5	4.22	0.136	3.876
14	65	1523.9	27.4	3.54	0.136	3.197
15	70	1519.8	23.3	2.86	0.113	2.576
16	75	1516.4	19.9	2.29	0.083	2.088
17	80	1513.9	17.4	1.88	0.056	1.740
18	85	1512.2	15.7	1.60	0.023	1.541
19	90	1511.5	15	1.48	0.040	1.384
20	95	1510.3	13.8	1.28	0.026	1.219
21	100	1509.5	13	1.15	0.033	1.070
22	105	1508.5	12	0.99	0.013	0.954
24	110	1508.1	11.6	0.92	0.184	0.460

Tabla 11. Datos experimentales de la operación de secado de rodajas de hongo *Suillus*

luteus, en secador de bandeja con flujo de aire a 45 °C y velocidad de 4,0 m/s.

(SB = 1496,5 g; S = 1,82 g).

	t	P1	P2=P1 - SB	(P2-S)/S		
Nº	Tiempo (min)	Peso de la estructura + hongo al tiempo t (g)	Peso de rodajas de hongo al tiempo t (g)	Humedad residual (g agua/g hongo seco)	dy/dt (g agua/g ss,min)	Ym (g agua/g hongo seco)
1	0	1558.1	61.6	32.85	1.05	30.21
2	5	1548.5	52	27.57	1.05	24.93
3	10	1538.9	42.4	22.30	1.00	19.80
4	15	1529.8	33.3	17.30	0.99	15.02
5	20	1521.5	25	12.74	0.51	11.47
6	25	1516.9	20.4	10.21	0.59	8.73
7	30	1511.5	15	7.24	0.16	6.83
8	35	1510	13.5	6.42	0.36	5.51
9	40	1506.7	10.2	4.60	0.33	3.78
10	45	1503.7	7.2	2.96	0.12	2.65
11	50	1502.6	6.1	2.35	0.09	2.13
12	55	1501.8	5.3	1.91	0.15	1.53
13	60	1500.4	3.9	1.14	0.04	1.03
14	65	1500	3.5	0.92	0.18	0.46

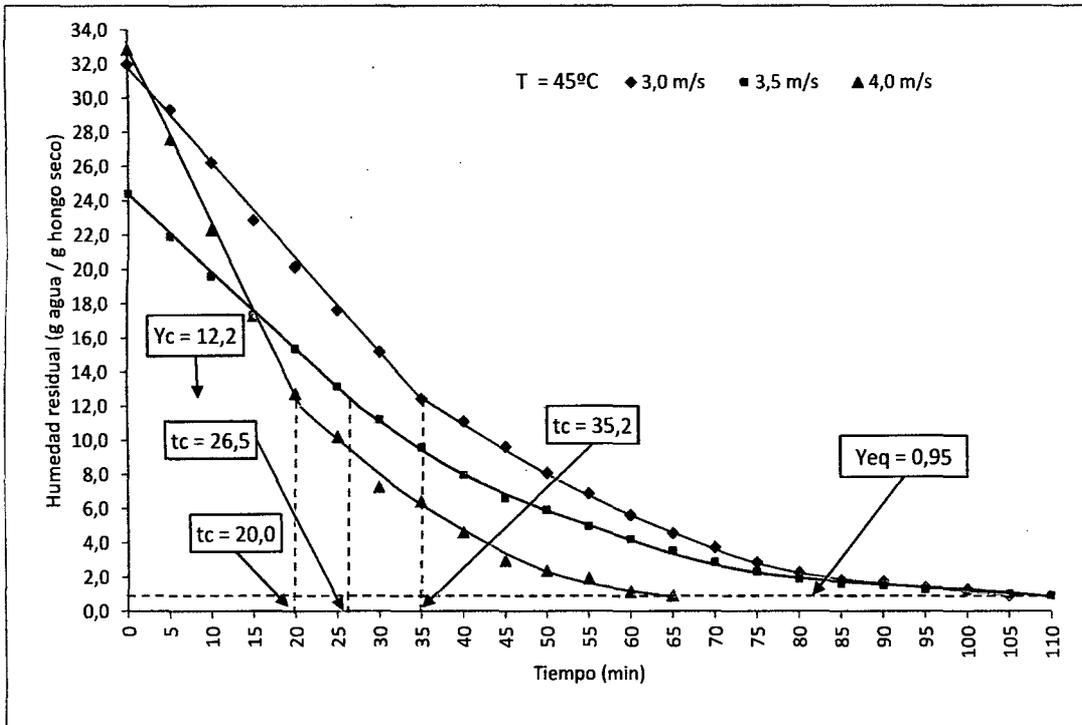


Figura 14. Humedad residual en función del tiempo ($T_1 = 45^\circ\text{C}$; $W_1 = 3,0$ m/s; $W_2 = 3,5$ m/s; $W_3 = 4,0$ m/s)

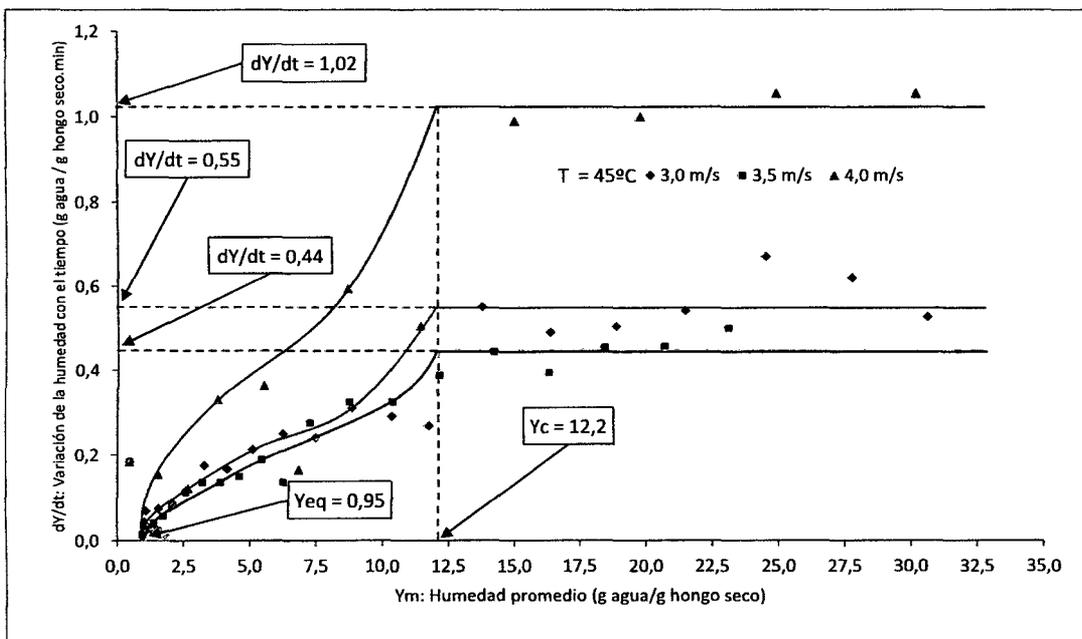


Figura 15. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio ($T_1 = 45^\circ\text{C}$; $W = 3,0$; $3,5$ y $4,0$ m/s)

Análisis de regresión lineal con SPSS (T1 = 45 °C; W1 = 3,0 m/s)

Tabla 12. Resumen del modelo de regresión lineal (T1 = 45 °C; W1 = 3,0 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,999	0,998	0,998	0,343

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 13. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal (T1 = 45 °C; W1 = 3,0 m/s).

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	331,215	1	331,215	2808,279	0,000
Residual	0,708	6	0,118		
Total	331,922	7			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 14. Coeficientes de la ecuación lineal (T1 = 45 °C; W1 = 3,0 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,562	0,011	-0,999	-52,993	0,000
(Constante)	31,800	0,222		143,449	0,000

La ecuación de la línea recta será de la forma: $y = -0,562x + 31,800$

Siendo: y = humedad residual; x = tiempo.

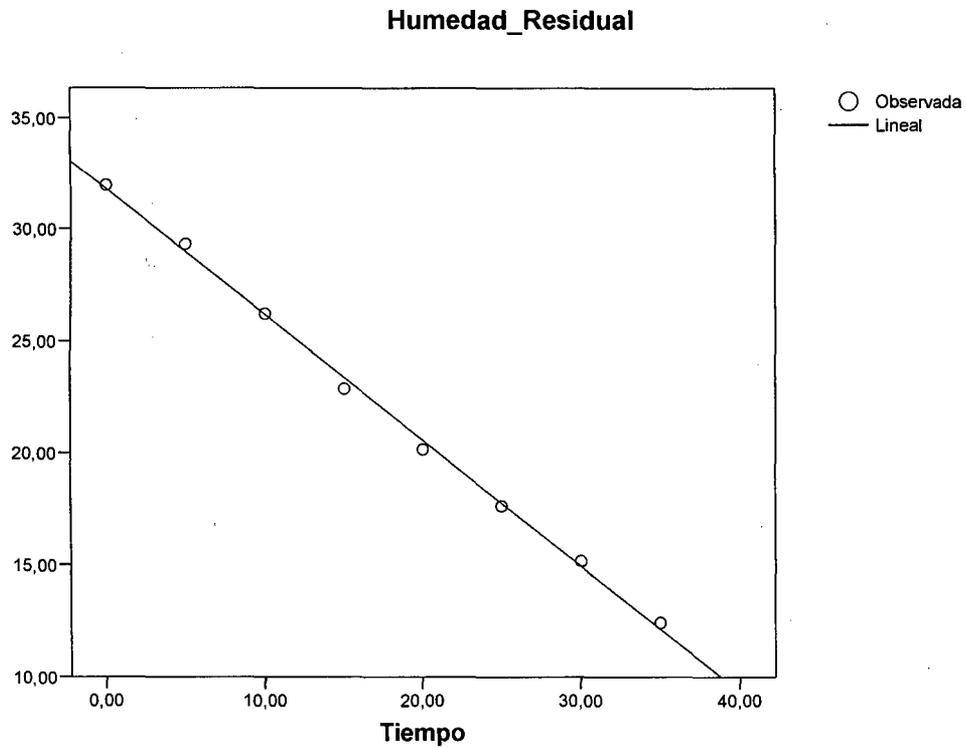


Figura 16. Representación de los datos experimentales (○) y de la línea recta (—) generada por el SPSS. (T1 = 45 °C; W1 = 3,0 m/s).

Análisis de regresión exponencial con SPSS (T1 = 45 °C; W1 = 3,0 m/s)

Tabla 15. Resumen del modelo de regresión exponencial (T1 = 45 °C; W1 = 3,0 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,997	0,995	0,994	0,063

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 16. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial

(T1 = 45 °C; W1 = 3,0 m/s)

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	8,532	1	8,532	2174,939	0,000
Residual	0,047	12	0,004		
Total	8,579	13			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 17. Coeficientes de la ecuación exponencial (T1 = 45 °C; W1 = 3,0 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,039	0,001	-0,997	-46,636	0,000
(Constante)	54,799	3,425		16,001	0,000

La variable dependiente es ln(Humedad_Residual).

La ecuación de la curva exponencial será de la forma: $y = 54,799e^{(-0,039x)}$

Siendo: y = humedad residual; x = tiempo.

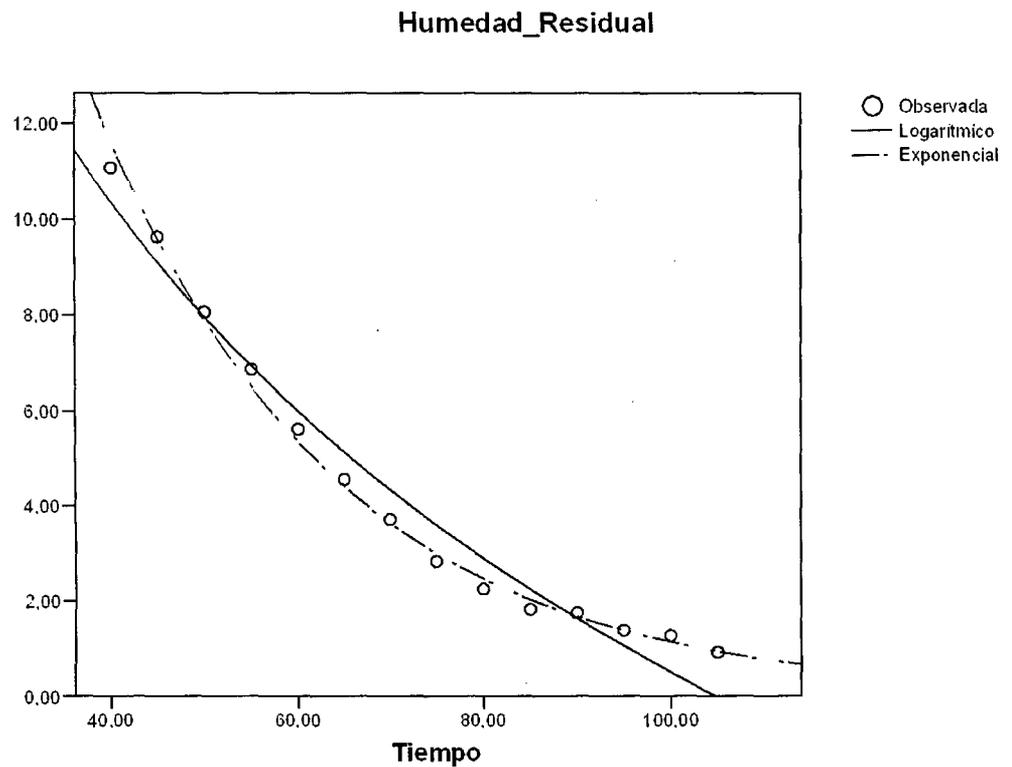


Figura 17. Representación de los datos experimentales (○), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (- -) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T1 = 45 °C; W1 = 3,0 m/s).

Análisis de regresión lineal con SPSS (T1 = 45 °C; W2 = 3,5 m/s)

Tabla 18. Resumen del modelo de regresión lineal (T1 = 45 °C; W2 = 3,5 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,999	0,999	0,998	0,163

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 19. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal (T1 = 45 °C; W2 = 3,5 m/s).

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	86,981	1	86,981	3270,144	0,000
Residual	0,106	4	0,027		
Total	87,088	5			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 20. Coeficientes de la ecuación lineal (T1 = 45 °C; W2 = 3,5 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,446	0,008	-0,999	-57,185	0,000
(Constante)	24,189	0,118		204,925	0,000

La ecuación de la línea recta será de la forma: $y = -0,446x + 24,189$

Siendo: y = humedad residual; x = tiempo.

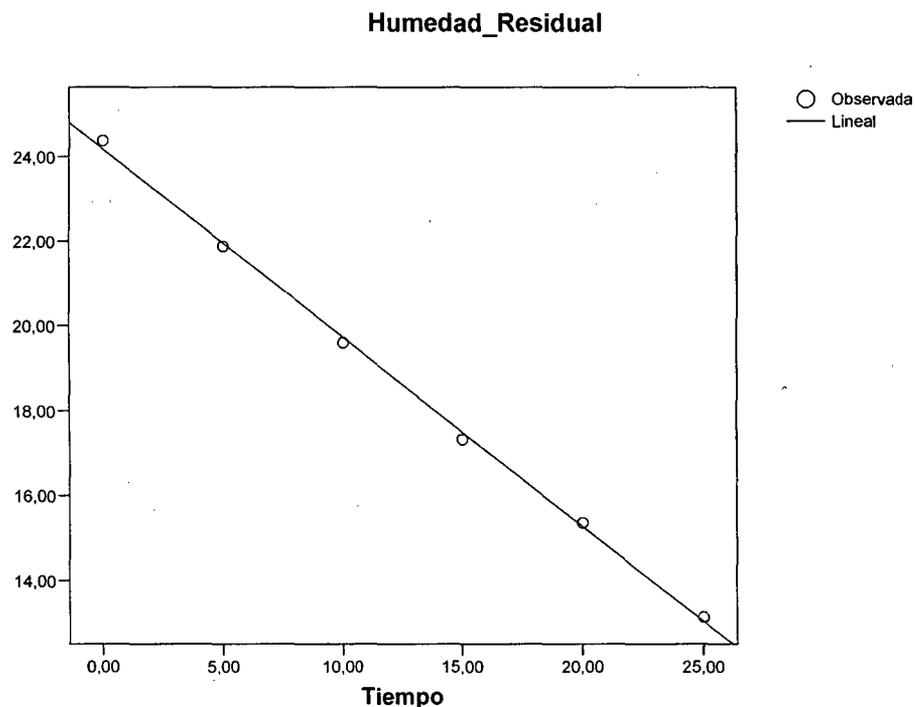


Figura 18. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T1 = 45 °C; W2 = 3,5 m/s).

Análisis de regresión exponencial con SPSS (T1 = 45 °C; W2 = 3,5 m/s)

Tabla 21. Resumen del modelo de regresión exponencial (T1 = 45 °C; W2 = 3,5 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,997	0,994	0,993	0,069

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 22. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial (T1 = 45 °C; W2 = 3,5 m/s).

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	10,889	1	10,889	2297,178	0,000
Residual	0,071	15	0,005		
Total	10,961	16			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 23. Coeficientes de la ecuación exponencial (T1 = 45 °C; W2 = 3,5 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,033	0,001	-0,997	-47,929	0,000
(Constante)	29,031	1,468		19,779	0,000

La variable dependiente es ln(Humedad_Residual).

La ecuación de la curva exponencial será de la forma: $y = 29,031e^{(-0,033x)}$

Siendo: y = humedad residual; x = tiempo.

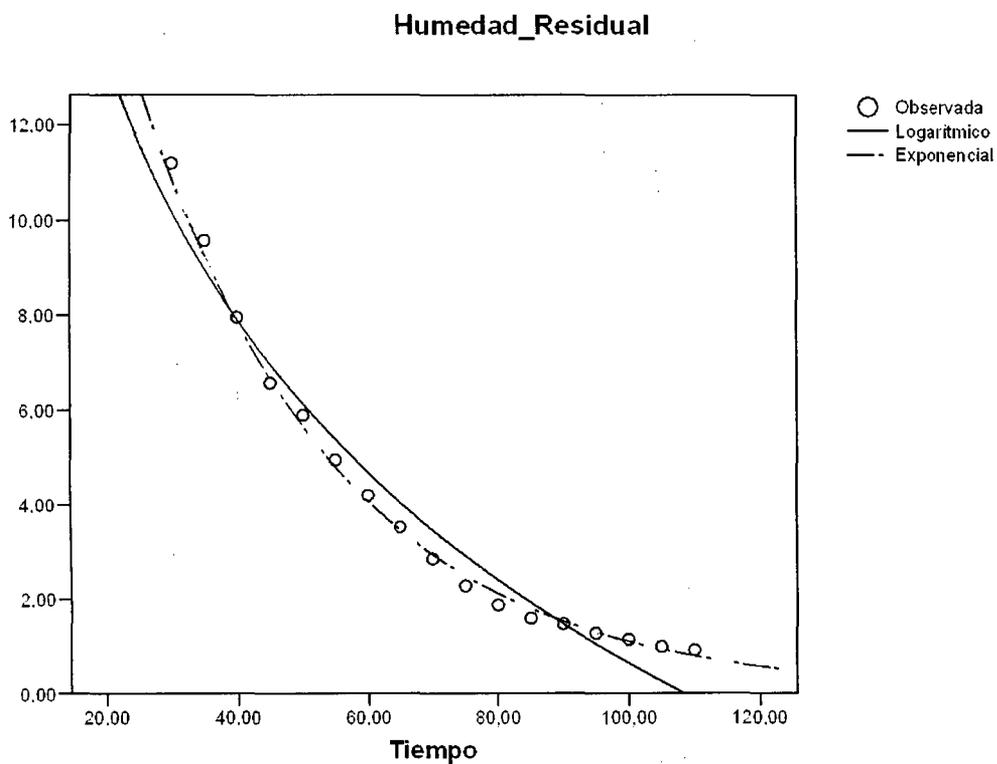


Figura 19. Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T1 = 45 °C; W2 = 3,5 m/s).

Análisis de regresión lineal con SPSS (T1 = 45 °C; W3 = 4,0 m/s)

Tabla 24. Resumen del modelo de regresión lineal (T1 = 45 °C; W3 = 4,0 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1,000	0,999	0,999	0,275

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 25. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal (T1 = 45 °C; W3 = 4,0 m/s).

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	254,924	1	254,924	3362,079	0,000
Residual	0,227	3	0,076		
Total	255,151	4			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 26. Coeficientes de la ecuación lineal (T1 = 45 °C; W3 = 4,0 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-1,010	0,017	-1,000	-57,983	0,000
(Constante)	32,650	0,213		153,076	0,000

La ecuación de la línea recta será de la forma: $y = -1,010x + 32,650$

Siendo: y = humedad residual; x = tiempo.

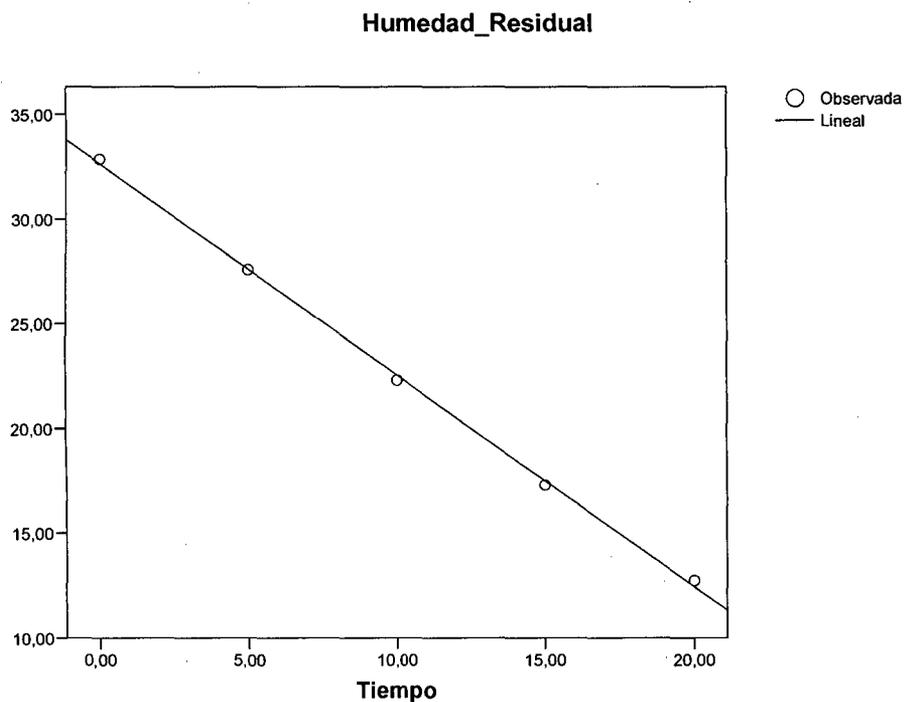


Figura 20. Representación de los datos experimentales (O) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T1 = 45 °C; W3 = 4,0 m/s).

Análisis de regresión exponencial con SPSS (T1 = 45 °C; W3 = 4,0 m/s)

Tabla 27. Resumen del modelo de regresión exponencial (T1 = 45 °C; W3 = 4,0 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,995	0,991	0,990	0,085

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 28. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial (T1 = 45 °C; W3 = 4,0 m/s).

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	5,563	1	5,563	762,775	0,000
Residual	0,051	7	0,007		
Total	5,614	8			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 29. Coeficientes de la ecuación exponencial (T1 = 45 °C; W3 = 4,0 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,061	0,002	-0,995	-27,618	0,000
(Constante)	48,781	5,035		9,688	0,000

La variable dependiente es ln(Humedad_Residual).

La ecuación de la curva exponencial será de la forma: $y = 48,781e^{(-0,061x)}$

Siendo: y = humedad residual; x = tiempo.

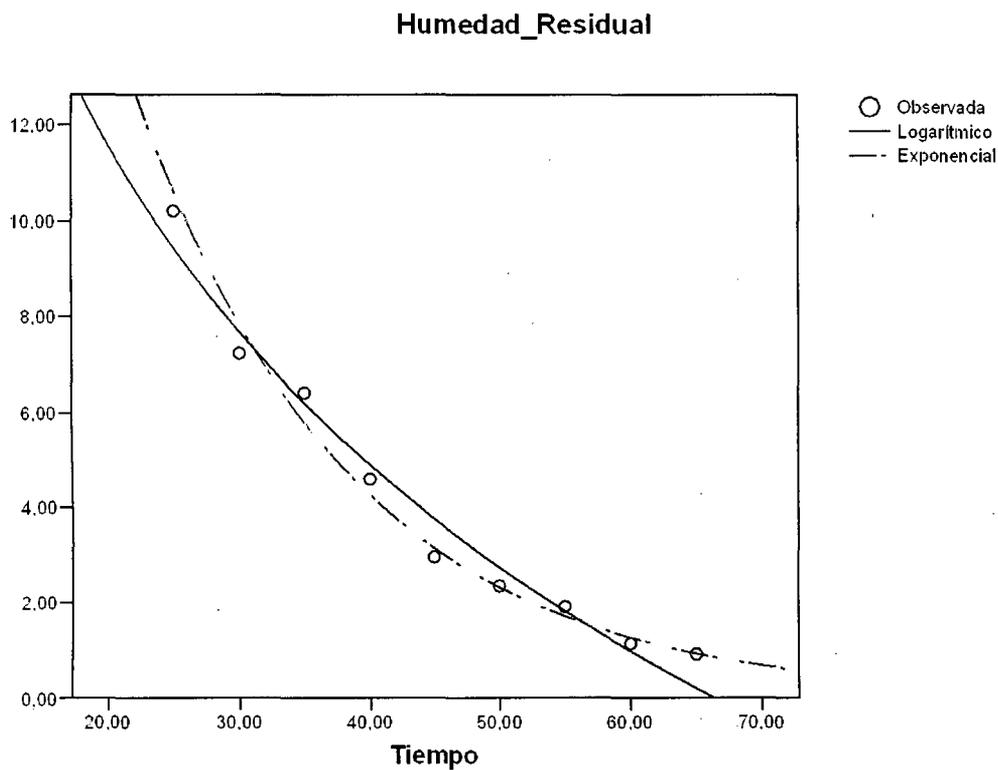


Figura 21. Representación de los datos experimentales (○), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T1 = 45 °C; W3 = 4,0 m/s).

ANEXO 4

Datos experimentales para determinar la cinética y el modelo matemático del secado de *Suillus luteus* en secador de bandejas con flujo de aire a 50 °C y velocidad de 3,0; 3,5 y 4,0 m/s

Tabla 30 . Datos experimentales de la operación de secado de rodajas de hongo *Suillus luteus*, en secador de bandejas con flujo de aire a 50 °C y velocidad de 3,0 m/s (SB =1497.7g ; S =4.59g).

Nº	t Tiempo (min)	P1 Peso de la estructura + hongo al tiempo t (g)	P2=P1 – SB Peso de rodajas de hongo al tiempo t (g)	(P2-S)/S Humedad residual (g agua/g hongo seco)	dy/dt (g agua/g ss,min)	Ym (g agua/g hongo seco)
1	0	1601.4	103.7	21.59	0.44	20.49
2	5	1591.3	93.6	19.39	0.47	18.22
3	10	1580.5	82.8	17.04	0.41	16.02
4	15	1571.1	73.4	14.99	0.40	13.99
5	20	1561.9	64.2	12.99	0.41	11.96
6	25	1552.5	54.8	10.94	0.31	10.17
7	30	1545.4	47.7	9.39	0.28	8.69
8	35	1539	41.3	8.00	0.28	7.29
9	40	1532.5	34.8	6.58	0.20	6.07
10	45	1527.8	30.1	5.56	0.22	5.00
11	50	1522.7	25	4.45	0.13	4.12
12	55	1519.7	22	3.79	0.15	3.41
13	60	1516.2	18.5	3.03	0.11	2.75
14	65	1513.6	15.9	2.46	0.11	2.18
15	70	1511	13.3	1.90	0.04	1.79
16	75	1510	12.3	1.68	0.06	1.54
17	80	1508.7	11	1.40	0.05	1.27
18	85	1507.5	9.8	1.14	0.04	1.04
19	90	1506.6	8.9	0.94	0.19	0.47

Tabla 31. Datos experimentales de la operación de secado de rodajas de hongo

Suillus luteus, en secador de bandejas con flujo de aire a 50 °C y velocidad de 3,5 m/s

(SB = 1497.7g ; S = 4.76g).

Nº	t	P1	P2=P1 - SB	(P2-S)/S	dy/dt (g agua/g ss,min)	Ym (g agua/g hongo seco)
	Tiempo (min)	Peso de la estructura + hongo al tiempo t (g)	Peso de rodajas de hongo al tiempo t (g)	Humedad residual (g agua/g hongo seco)		
1	0	1600.2	102.5	20.53	0.49	19.46
2	5	1590	92.3	18.39	0.53	17.08
3	10	1577.5	79.8	15.76	0.48	14.56
4	15	1566	68.3	13.35	0.50	12.10
5	20	1554.1	56.4	10.85	0.34	10.00
6	25	1546	48.3	9.15	0.29	8.41
7	30	1539	41.3	7.68	0.20	7.17
8	35	1534.2	36.5	6.67	0.27	6.00
9	40	1527.8	30.1	5.32	0.24	4.71
10	45	1522	24.3	4.11	0.18	3.66
11	50	1517.8	20.1	3.22	0.12	2.92
12	55	1514.9	17.2	2.61	0.05	2.49
13	60	1513.7	16	2.36	0.04	2.27
14	65	1512.8	15.1	2.17	0.04	2.08
15	70	1511.9	14.2	1.98	0.08	1.78
16	75	1510	12.3	1.58	0.01	1.56
17	80	1509.8	12.1	1.54	0.05	1.41
18	85	1508.5	10.8	1.27	0.01	1.24
19	90	1508.2	10.5	1.21	0.05	1.07
20	95	1506.9	9.22	0.94	0.19	0.47

Tabla 32 . Datos experimentales de la operación de secado de rodajas de hongo *Suillus luteus*, en secador de bandejas con flujo de aire a 50 °C y velocidad de 4,0 m/s,
(SB = 1497.7g ; S =4.17g).

Nº	t	P1	P2=P1 - SB	(P2-S)/S		
	Tiempo (min)	Peso de la estructura + hongo al tiempo t (g)	Peso de rodajas de hongo al tiempo t (g)	Humedad residual (g agua/g hongo seco)	dy/dt (g agua/g ss,min)	Ym (g agua/g hongo seco)
1	0	1588.4	90.7	20.75	0.56	19.35
2	5	1576.7	79	17.94	0.53	16.66
3	10	1566	68.3	15.38	0.58	13.87
4	15	1553.4	55.7	12.36	0.32	11.55
5	20	1546.7	49	10.75	0.42	9.70
6	25	1537.9	40.2	8.64	0.28	7.94
7	30	1532.1	34.4	7.25	0.22	6.70
8	35	1527.5	29.8	6.15	0.19	5.68
9	40	1523.6	25.9	5.21	0.17	4.78
10	45	1520	22.3	4.35	0.16	3.94
11	50	1516.6	18.9	3.53	0.09	3.32
12	55	1514.8	17.1	3.10	0.12	2.79
13	60	1512.2	14.5	2.48	0.07	2.30
14	65	1510.7	13	2.12	0.05	2.00
15	70	1509.7	12	1.88	0.08	1.67
16	75	1508	10.3	1.47	0.04	1.37
17	80	1507.2	9.5	1.28	0.03	1.21
18	85	1506.6	8.9	1.13	0.03	1.06
19	90	1506	8.3	0.99	0.01	0.97
20	95	1505.8	8.1	0.94	0.19	0.47

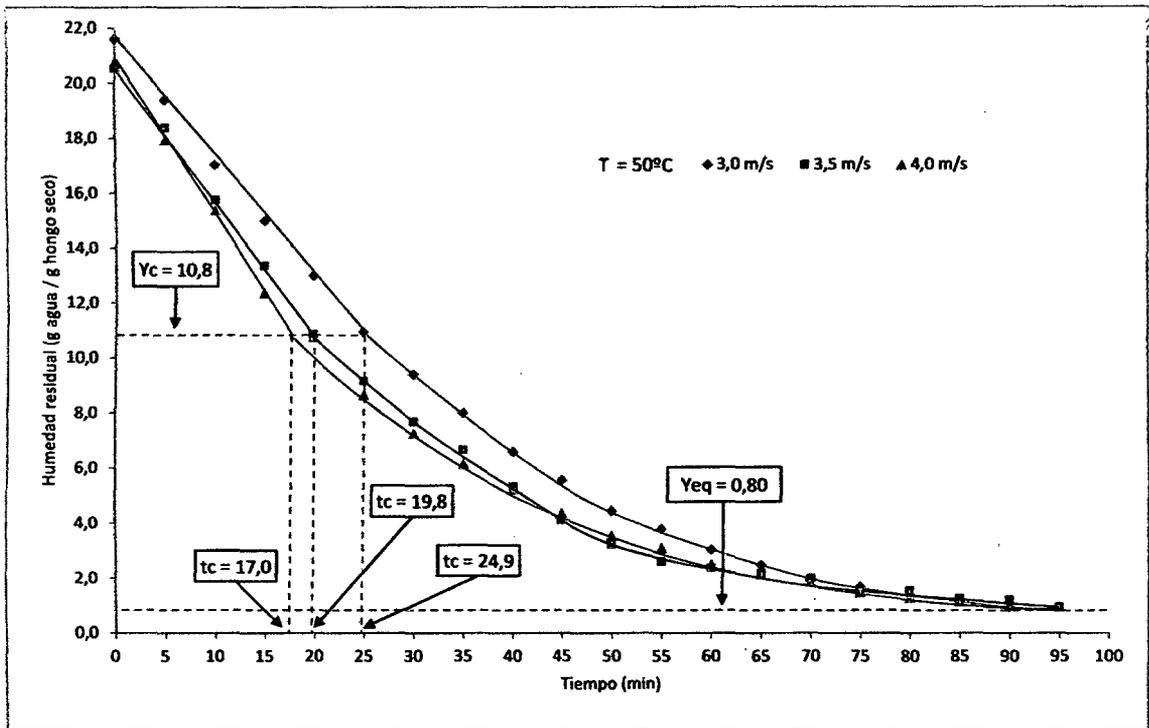


Figura 22. Humedad residual en función del tiempo ($T_2 = 50^\circ\text{C}$; $W_1 = 3,0 \text{ m/s}$; $W_2 = 3,5 \text{ m/s}$; $W_3 = 4,0 \text{ m/s}$)

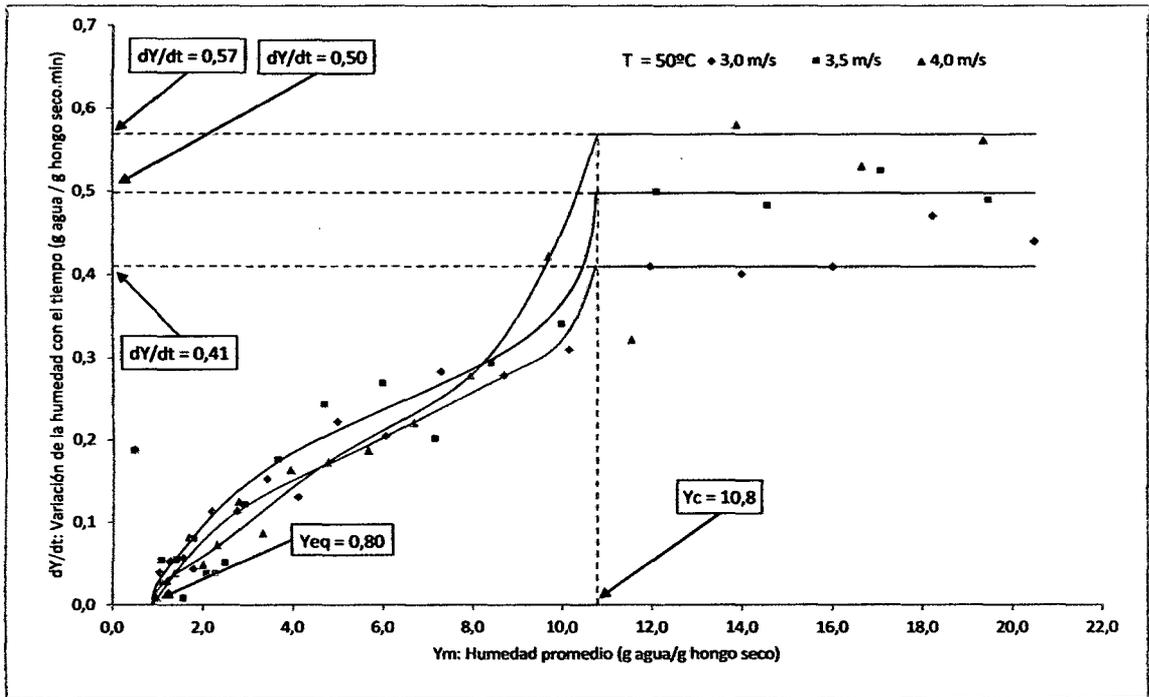


Figura 23. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio ($T_2 = 50^\circ\text{C}$; $W = 3,0$; $3,5$ y $4,0 \text{ m/s}$)

Análisis de regresión lineal con SPSS (T2= 50 °C; W1 = 3,0 m/s)

Tabla 33. Resumen del modelo de regresión lineal (T2 = 50 °C; W1 = 3,0 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1,000	0,999	0,999	0,131

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 34. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal (T2 = 50 °C; W1 = 3,0 m/s).

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	79,289	1	79,289	4593,310	0,000
Residual	0,069	4	0,017		
Total	79,358	5			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 35. Coeficientes de la ecuación lineal (T2 = 50 °C; W1 = 3,0 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,426	0,006	-1,000	-67,774	0,000
(Constante)	21,478	0,095		225,873	0,000

La ecuación de la línea recta será de la forma: $y = -0,426x + 21,478$

Siendo: y = humedad residual; x = tiempo.

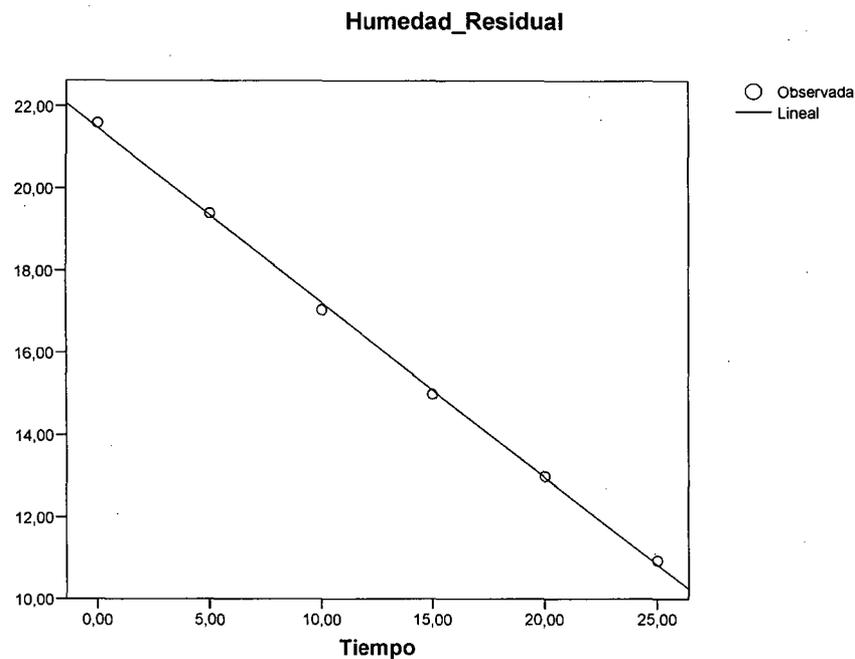


Figura 24. Representación de los datos experimentales (○) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T2 = 50 °C; W1 = 3,0 m/s).

Análisis de regresión exponencial con SPSS (T2 = 50 °C; W1 = 3,0 m/s)

Tabla 36. Resumen del modelo de regresión exponencial (T2 = 50 °C; W1 = 3,0 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,999	0,999	0,999	0,028

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 37. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial

(T2 = 50 °C; W1 = 3,0 m/s).

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	6,911	1	6,911	9054,593	0,000
Residual	0,008	11	0,001		
Total	6,920	12			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 38. Coeficientes de la ecuación exponencial (T2 = 50 °C; W1 = 3,0 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,039	0,000	-0,999	-95,156	0,000
(Constante)	31,183	0,803		38,848	0,000

La variable dependiente es ln(Humedad_Residual).

La ecuación de la curva exponencial será de la forma: $y = 31,183e^{(-0,039x)}$

Siendo: y = humedad residual; x = tiempo.

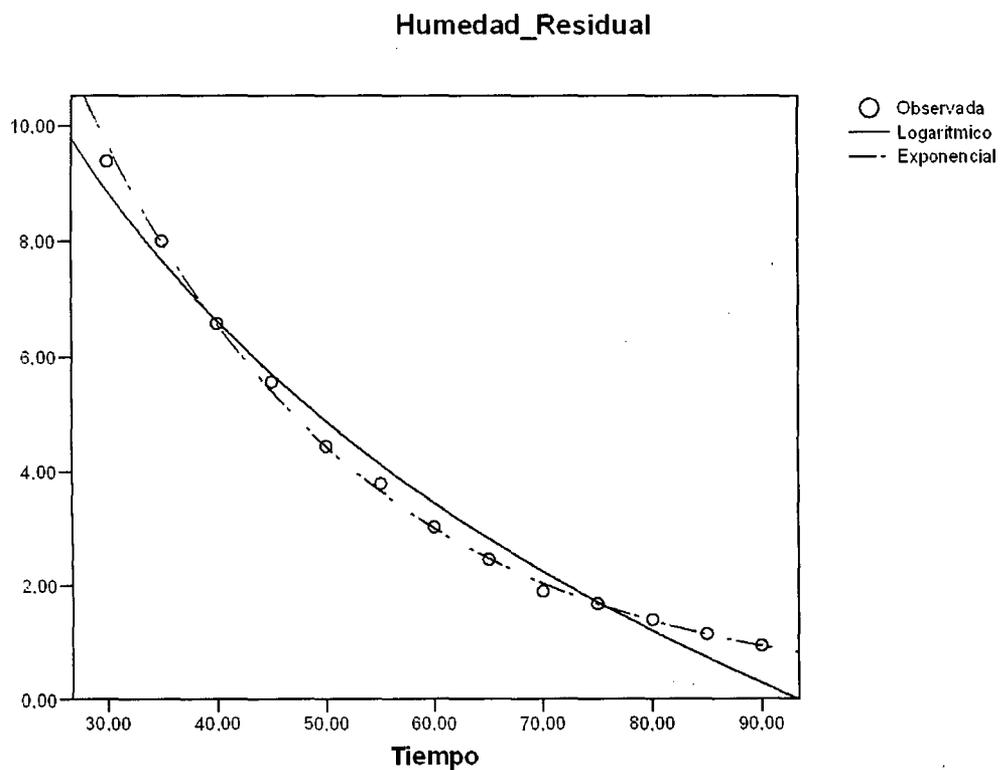


Figura 25. Representación de los datos experimentales (○), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.-) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T2 = 50 °C; W1 = 3,0 m/s).

Análisis de regresión lineal con SPSS (T2 = 50 °C; W2 = 3,5 m/s)

Tabla 39. Resumen del modelo de regresión lineal (T2 = 50 °C; W2 = 3,5 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1,000	0,999	0,999	0,127

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 40. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal (T2 = 50 °C; W2 = 3,5 m/s).

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	59,536	1	59,536	3666,010	0,000
Residual	0,049	3	0,016		
Total	59,585	4			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 41. Coeficientes de la ecuación lineal (T2 = 50 °C; W2 = 3,5 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,488	0,008	-1,000	-60,548	0,000
(Constante)	20,656	0,099		209,256	0,000

La ecuación de la línea recta será de la forma: $y = -0,488x + 20,656$

Siendo: y = humedad residual; x = tiempo.

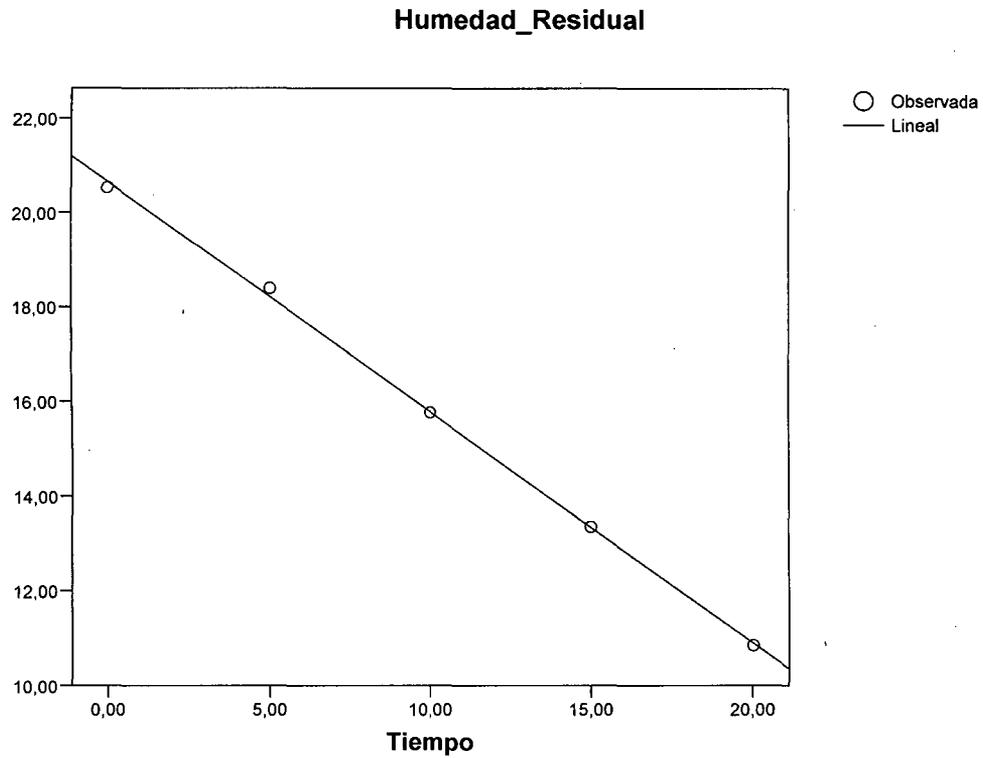


Figura 26. Representación de los datos experimentales (○) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. ($T_2 = 50\text{ °C}$; $W_2 = 3,5\text{ m/s}$).

Análisis de regresión exponencial con SPSS ($T_2 = 50\text{ °C}$; $W_2 = 3,5\text{ m/s}$)

Tabla 42. Resumen del modelo de regresión exponencial ($T_2 = 50\text{ °C}$; $W_2 = 3,5\text{ m/s}$).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,989	0,979	0,977	0,108

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 43. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial (T2 = 50 °C; W2 = 3,5 m/s).

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	7,007	1	7,007	596,955	0,000
Residual	0,153	13	0,012		
Total	7,160	14			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 44. Coeficientes de la ecuación exponencial (T2 = 50 °C; W2 = 3,5 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,032	0,001	-0,989	-24,433	0,000
(Constante)	18,068	1,492		12,110	0,000

La variable dependiente es ln(Humedad_Residual).

La ecuación de la curva exponencial será de la forma: $y = 18,068e^{(-0,032x)}$

Siendo: y = humedad residual; x = tiempo.

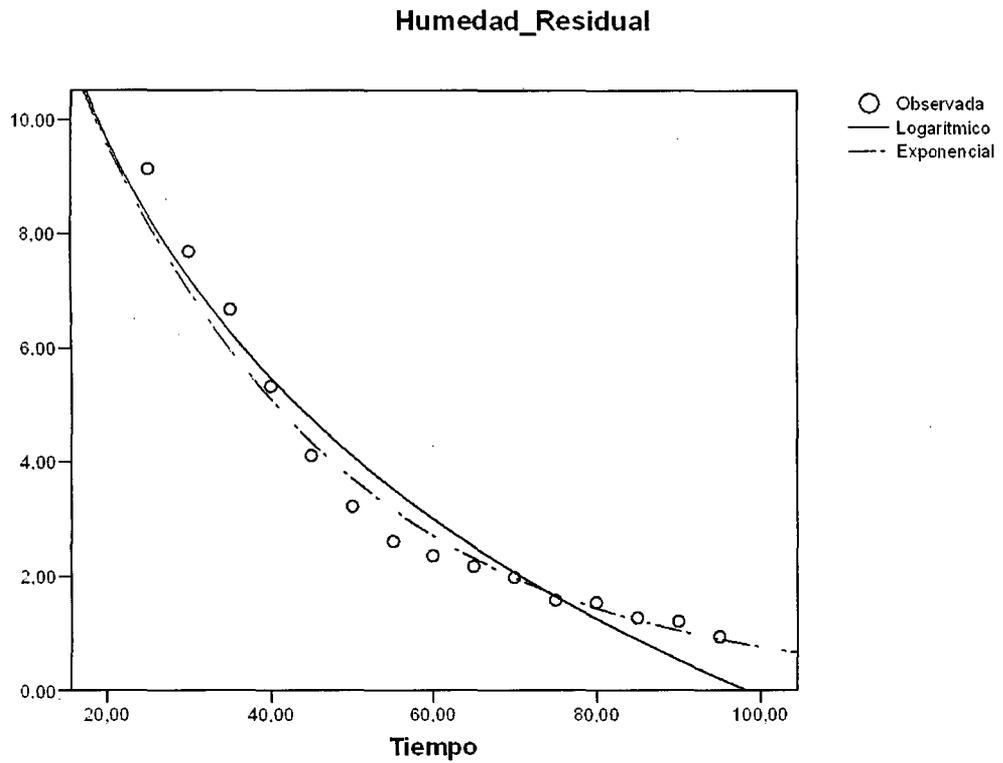


Figura 27. Representación de los datos experimentales (○), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.-) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T2 = 50 °C; W2 = 3,5 m/s).

Análisis de regresión lineal con SPSS (T2 = 50 °C; W3 = 4,0 m/s)

Tabla 45. Resumen del modelo de regresión lineal (T2 = 50 °C; W3 = 4,0 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,996	0,992	0,990	0,408

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 46. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal (T2 = 50 °C; W3 = 4,0 m/s).

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	65,434	1	65,434	393,799	0,000
Residual	0,498	3	0,166		
Total	65,932	4			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 47. Coeficientes de la ecuación lineal (T2 = 50 °C; W3 = 4,0 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,512	0,026	-0,996	-19,844	0,000
(Constante)	20,552	0,316		65,090	0,000

La ecuación de la línea recta será de la forma: $y = -0,512x + 20,552$

Siendo: y = humedad residual; x = tiempo.

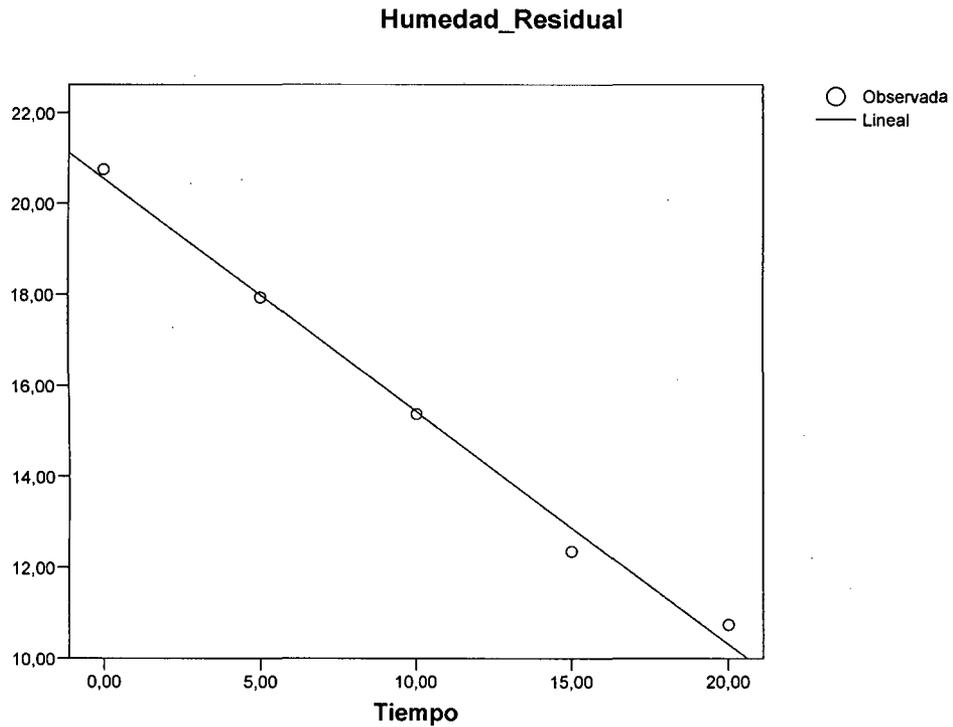


Figura 28. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T2 = 50 °C; W3 = 4,0 m/s).

Análisis de regresión exponencial con SPSS (T2 = 50 °C; W3 = 4,0 m/s)

Tabla 48. Resumen del modelo de regresión exponencial (T2 = 50 °C; W3 = 4,0 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,998	0,995	0,995	0,054

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 49. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial (T2 = 50 °C; W3 = 4,0 m/s).

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	7,707	1	7,707	2679,342	0,000
Residual	0,037	13	0,003		
Total	7,745	14			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 50. Coeficientes de la ecuación exponencial (T2 = 50 °C; W3 = 4,0 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,033	0,001	-0,998	-51,762	0,000
(Constante)	19,176	0,784		24,462	0,000

La variable dependiente es ln(Humedad_Residual).

La ecuación de la curva exponencial será de la forma: $y = 19,176e^{(-0,033x)}$

Siendo: y = humedad residual; x = tiempo.

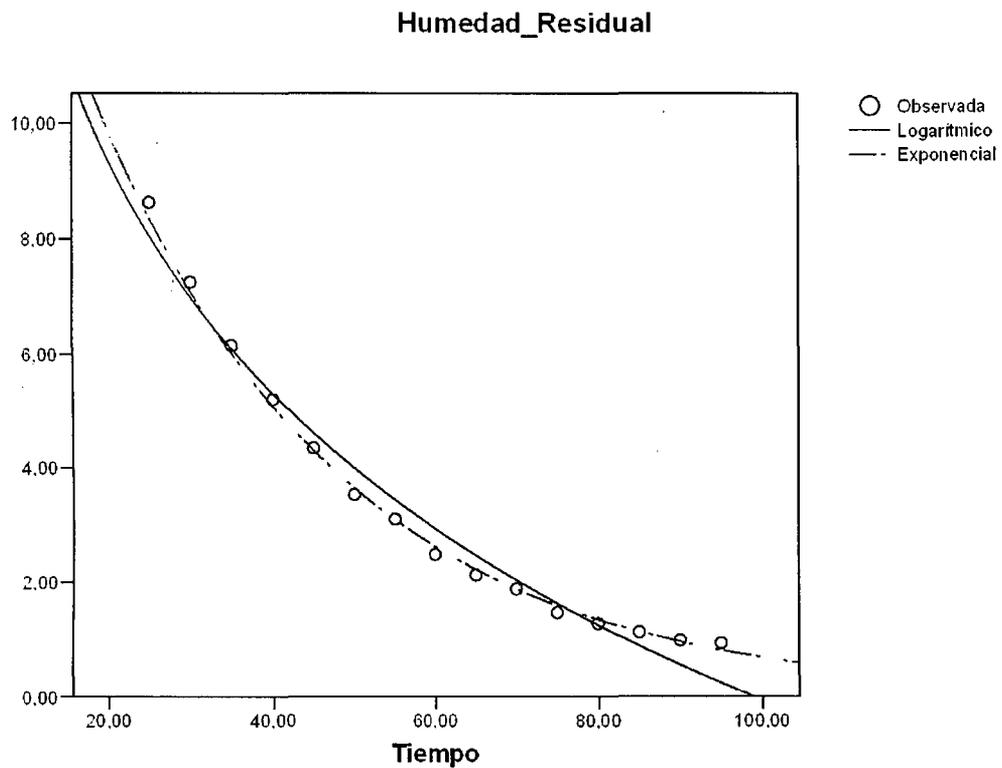


Figura 29. Representación de los datos experimentales (○), de la curva logarítmica (—) y de la curva exponencial (-.-) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T2 = 50°C; W3 = 4,0 m/s).

ANEXO 5

Datos experimentales para determinar la cinética y el modelo matemático del secado de *Suillus luteus* en secador de bandejas con flujo de aire a 60°C y velocidad de 3,0; 3,5 y 4,0 m/s

Tabla 51. Datos experimentales de la operación de secado de rodajas de hongo *Suillus luteus*, en secador de bandejas con flujo de aire a 60°C y velocidad de 3,0 m/s. (SB = 1496,7g; S = 7,28g).

	t	P1	P2=P1 - SB	(P2-S)/S		
Nº	Tiempo (min)	Peso de la estructura + hongo al tiempo t (g)	Peso de rodajas de hongo al tiempo t (g)	Humedad residual (g agua/g hongo seco)	dy/dt (g agua/g ss,min)	Ym (g agua/g hongo seco)
1	0	1602.4	105.2	13.45	0.26	12.52
2	5	1588.9	91.7	11.60	0.27	10.66
3	10	1575.3	78.1	9.73	0.25	9.10
4	15	1566.1	68.9	8.46	0.27	7.80
5	20	1556.4	59.2	7.13	0.21	6.60
6	25	1548.6	51.4	6.06	0.20	5.57
7	30	1541.4	44.2	5.07	0.17	4.65
8	35	1535.3	38.1	4.23	0.15	3.86
9	40	1529.9	32.7	3.49	0.14	3.14
10	45	1524.8	27.6	2.79	0.10	2.54
11	50	1521.1	23.9	2.28	0.08	2.09
12	55	1518.3	21.1	1.90	0.07	1.71
13	60	1515.6	18.4	1.53	0.06	1.38
14	65	1513.5	16.3	1.24	0.06	1.05
15	70	1510.7	13.5	0.85	0.05	0.81
16	75	1510	12.8	0.76	0.04	0.74
17	80	1509.8	12.6	0.73	0.04	0.63
18	85	1508.4	11.2	0.54	0.03	0.46
19	90	1507.3	10.1	0.39	0.02	0.35
20	95	1506.7	9.5	0.30	0.00	0.30
21	100	1506.7	9.5	0.30	0.00	0.30
22	105	1506.6	9.4	0.29	0.00	0.29
23	110	1506.6	9.4	0.29	0.03	0.22
24	115	1505.5	8.3	0.14	0.03	0.07

Tabla 52. Datos experimentales de la operación de secado de rodajas de hongo *Suillus* *luteus*, en secador de bandejas con flujo de aire a 60°C y velocidad de 3,5 m/s.
(SB = 1496,7g; S = 7,28g).

Nº	t	P1	P2=P1 - SB	(P2-S)/S	dy/dt (g agua/g ss,min)	Ym (g agua/g hongo seco)
	Tiempo (min)	Peso de la estructura + hongo al tiempo t (g)	Peso de rodajas de hongo al tiempo t (g)	Humedad residual (g agua/g hongo seco)		
1	0	1602.4	105.2	13.45	0.26	12.52
2	5	1588.9	91.7	11.60	0.27	10.66
3	10	1575.3	78.1	9.73	0.25	9.10
4	15	1566.1	68.9	8.46	0.27	7.80
5	20	1556.4	59.2	7.13	0.21	6.60
6	25	1548.6	51.4	6.06	0.20	5.57
7	30	1541.4	44.2	5.07	0.17	4.65
8	35	1535.3	38.1	4.23	0.15	3.86
9	40	1529.9	32.7	3.49	0.14	3.14
10	45	1524.8	27.6	2.79	0.10	2.54
11	50	1521.1	23.9	2.28	0.08	2.09
12	55	1518.3	21.1	1.90	0.07	1.71
13	60	1515.6	18.4	1.53	0.06	1.38
14	65	1513.5	16.3	1.24	0.06	1.05
15	70	1510.7	13.5	0.85	0.05	0.81
16	75	1510	12.8	0.76	0.04	0.74
17	80	1509.8	12.6	0.73	0.04	0.63
18	85	1508.4	11.2	0.54	0.03	0.46
19	90	1507.3	10.1	0.39	0.02	0.35
20	95	1506.7	9.5	0.30	0.00	0.30
21	100	1506.7	9.5	0.30	0.00	0.30
22	105	1506.6	9.4	0.29	0.00	0.29
23	110	1506.6	9.4	0.29	0.03	0.22
24	115	1505.5	8.3	0.14	0.03	0.07

Tabla 53. Datos experimentales de la operación de secado de rodajas de hongo *Suillus luteus*, en secador de bandejas con flujo de aire a 60°C y velocidad de 4,0 m/s.

(SB = 1497,2 g; S = 10,49 g).

	t	P1	P2=P1 - SB	(P2-S)/S		
Nº	Tiempo (min)	Peso de la estructura + hongo al tiempo t (g)	Peso de rodajas de hongo al tiempo t (g)	Humedad residual (g agua/g hongo seco)	dy/dt (g agua/g ss,min)	Ym (g agua/g hongo seco)
1	0	1647.4	150.2	13.32	0.33	12.44
2	5	1630	131.8	11.56	0.31	10.63
3	10	1610.4	112.2	9.70	0.32	9.00
4	15	1595.7	97.5	8.29	0.31	7.67
5	20	1582.5	84.3	7.04	0.23	6.47
6	25	1570.6	72.4	5.90	0.23	5.32
7	30	1558.4	60.2	4.74	0.15	4.35
8	35	1550.3	52.1	3.97	0.16	3.56
9	40	1541.8	43.6	3.16	0.12	2.85
10	45	1535.3	37.1	2.54	0.10	2.29
11	50	1530.1	31.9	2.04	0.08	1.84
12	55	1525.9	27.7	1.64	0.09	1.43
13	60	1521.4	23.2	1.21	0.06	1.05
14	65	1518.1	19.9	0.90	0.05	0.77
15	70	1515.5	17.3	0.65	0.04	0.54
16	75	1513.3	15.1	0.44	0.04	0.35
17	80	1511.4	13.2	0.26	0.02	0.20
18	85	1510.2	12	0.14	0.03	0.07

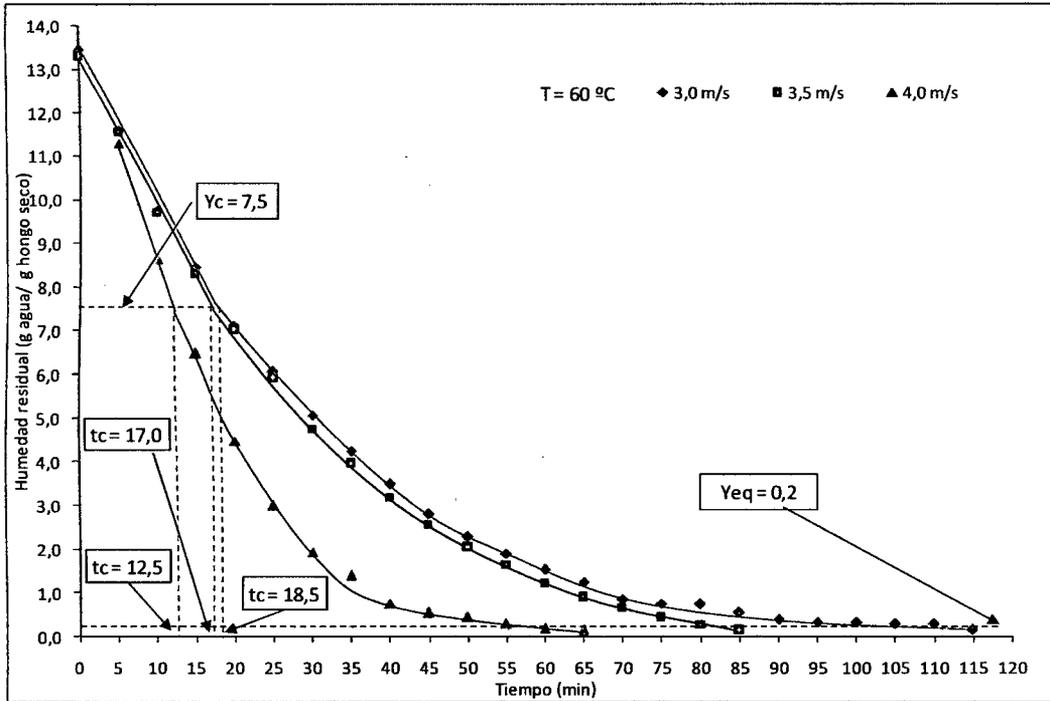


Figura 30. Humedad residual en función del tiempo ($T_3 = 60\text{ }^\circ\text{C}$; $W_1 = 3,0\text{ m/s}$; $W_2 = 3,5\text{ m/s}$; $W_3 = 4,0\text{ m/s}$)

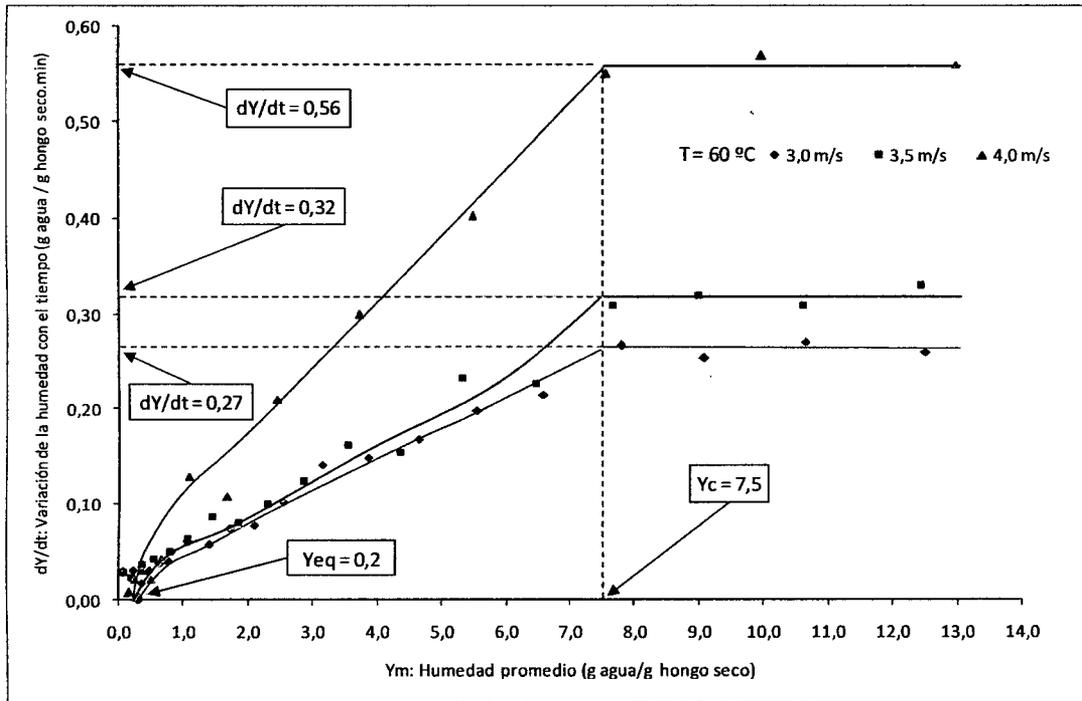


Figura 31. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio ($T_3 = 60\text{ }^\circ\text{C}$; $W = 3,0; 3,5\text{ y }4,0\text{ m/s}$)

Análisis de regresión lineal con SPSS (T3 = 60 °C; W1 = 3,0 m/s)

Tabla 54. Resumen del modelo de regresión lineal (T3 =60 °C; W1 = 3,0 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,996	0,993	0,989	0,227

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 55. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal (T3 = 60 °C; W1 = 3,0 m/s).

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	14,179	1	14,179	274,473	0,004
Residual	0,103	2	0,052		
Total	14,283	3			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 56. Coeficientes de la ecuación lineal (T3 = 60 °C; W1 = 3,0 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,337	0,020	-0,996	-16,567	0,004
(Constante)	13,336	0,190		70,129	0,000

La ecuación de la línea recta será de la forma: $y = -0,337x + 13,336$

Siendo: y = humedad residual; x = tiempo.

Humedad_Residual

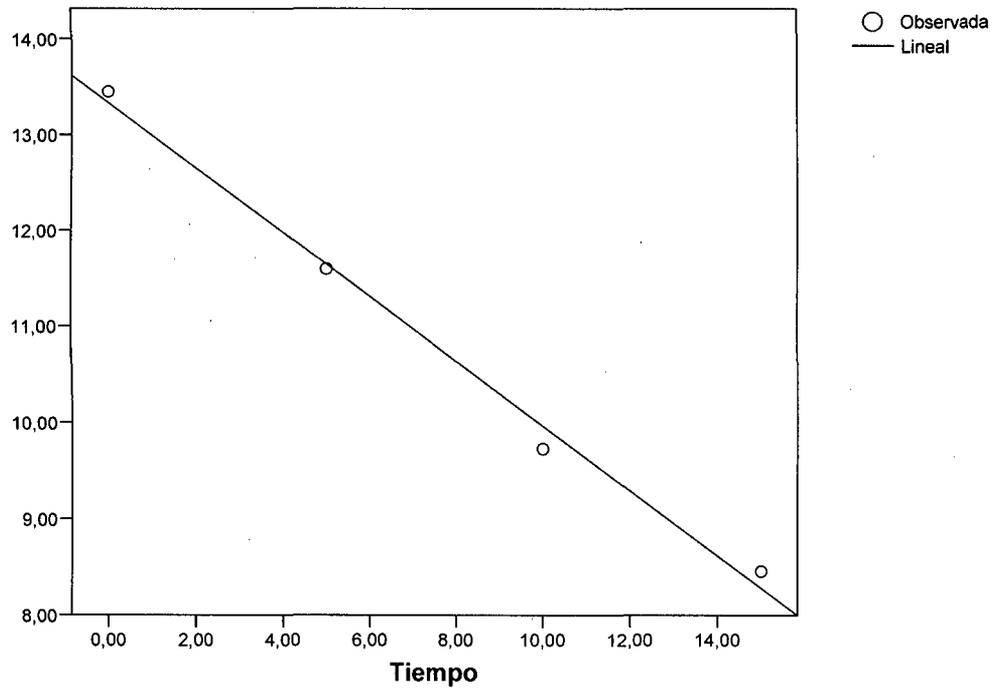


Figura 32. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T3= 60 °C; W1 = 3,0 m/s).

Análisis de regresión exponencial con SPSS (T3 = 60 °C; W1 = 3,0 m/s)

Tabla 57. Resumen del modelo de regresión exponencial

(T3 = 60 °C; W1 = 3,0 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,994	0,989	0,988	0,128

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 58. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión Exponencial (T3 = 60 °C; W1 = 3,0 m/s).

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	26,543	1	26,543	1614,244	0,000
Residual	0,296	18	0,016		
Total	26,839	19			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 59. Coeficientes de la ecuación exponencial (T3 = 60 °C; W1 = 3,0 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,040	0,001	-0,994	-40,178	0,000
(Constante)	16,442	1,200		13,699	0,000

La variable dependiente es ln(Humedad_Residual).

La ecuación de la curva exponencial será de la forma: $y = 16,442e^{(-0,040x)}$

Siendo: y = humedad residual; x = tiempo.

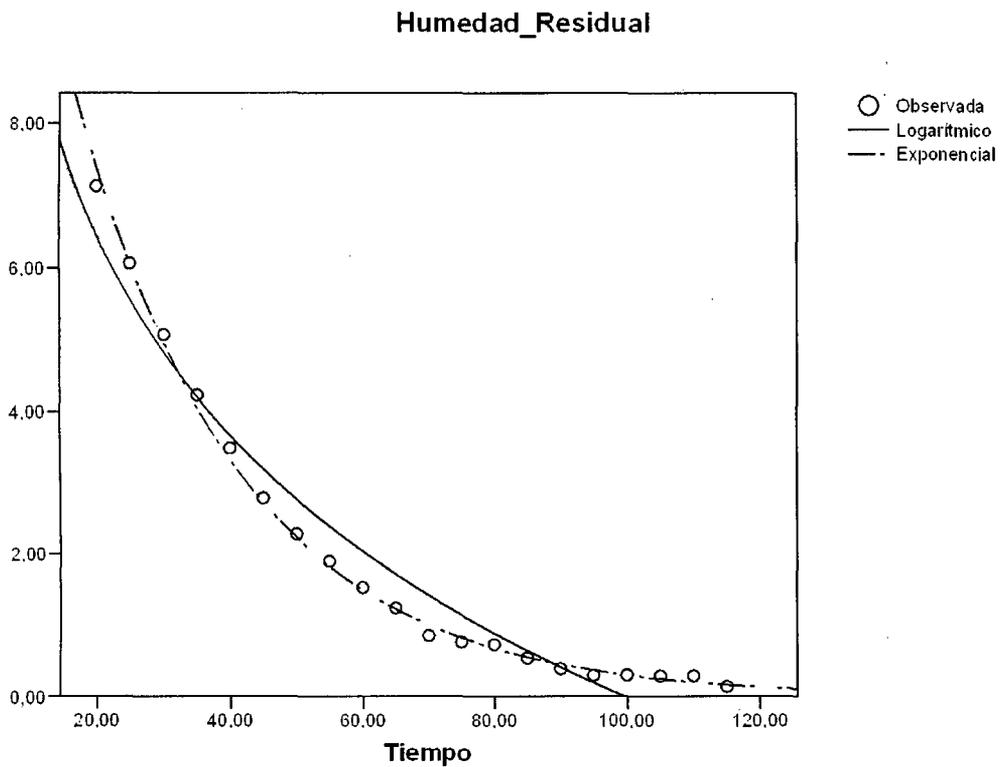


Figura 33. Representación de los datos experimentales (○), de la curva logarítmica (—) y de la curva exponencial (-.-) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T3 = 60 °C; W1 = 3,0 m/s).

Análisis de regresión lineal con SPSS (T3 = 60 °C; W2 = 3,5 m/s)

Tabla 60. Resumen del modelo de regresión lineal (T3 = 60 °C; W2 = 3,5 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,998	0,997	0,995	0,151

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 61. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal (T3 = 60 °C; W2 = 3,5 m/s).

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	14,365	1	14,365	627,984	0,002
Residual	0,046	2	0,023		
Total	14,411	3			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 62. Coeficientes de la ecuación lineal (T3 = 60 °C; W2 = 3,5 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,339	0,014	-0,998	-25,060	0,002
(Constante)	13,260	0,127		104,789	0,000

La ecuación de la línea recta será de la forma: $y = -0,339x + 13,260$

Siendo: y = humedad residual; x = tiempo.

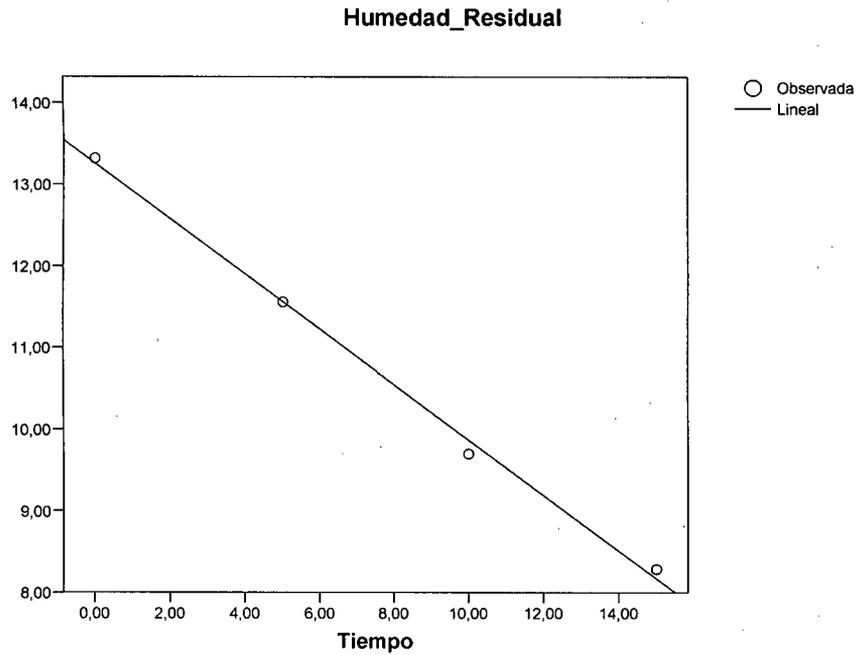


Figura 34. Representación de los datos experimentales (○) y de la línea recta (—) generada por el SPSS. (T3 =60 °C; W2 = 3,5 m/s).

Análisis de regresión exponencial con SPSS (T3 = 60 °C; W2 = 3,5 m/s)

Tabla 63. Resumen del modelo de regresión exponencial

(T3 = 60 °C; W2 = 3,5 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,982	0,965	0,962	0,234

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 64. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial (T3 = 60 °C; W2 = 3,5 m/s).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	18,020	1	18,020	329,769	0,000
Residual	0,656	12	0,055		
Total	18,676	13			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 65. Coeficientes de la ecuación exponencial (T3 = 60 °C; W2 = 3,5 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,056	0,003	-0,982	-18,160	0,000
(Constante)	28,388	4,948		5,737	0,000

La variable dependiente es ln(Humedad_Residual).

La ecuación de la curva exponencial será de la forma: $y = 28,388e^{(-0,056x)}$

Siendo: y = humedad residual; x = tiempo.

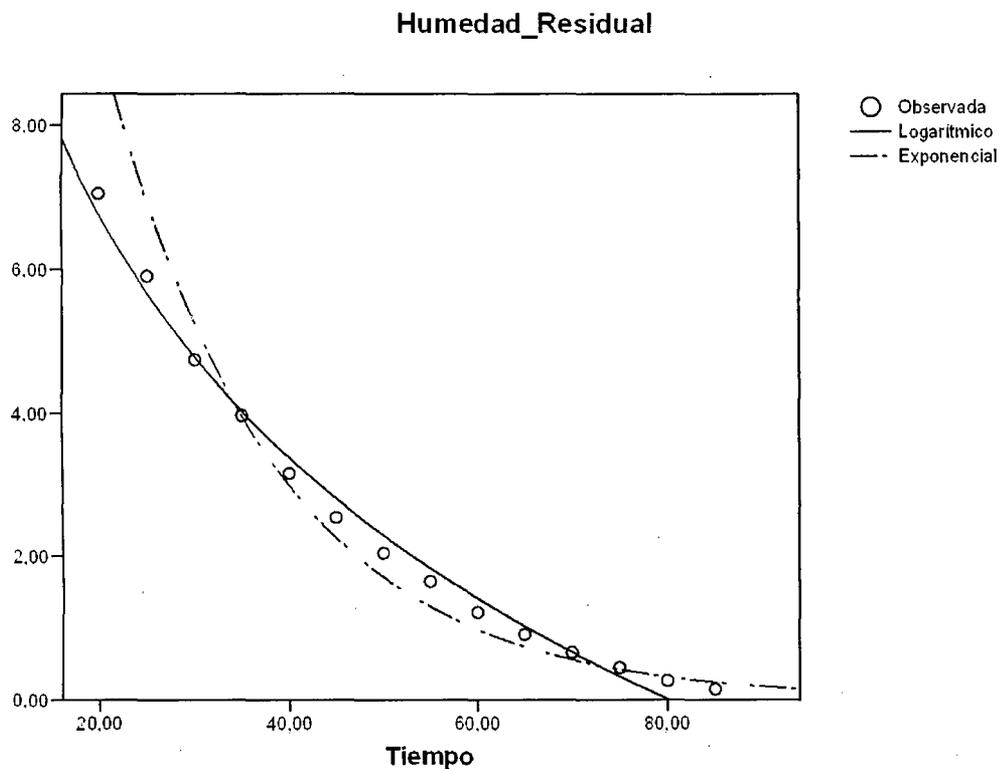


Figura 35 . Representación de los datos experimentales (0), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T3 = 60 °C; W2 = 3,5 m/s).

Análisis de regresión lineal con SPSS (T3 = 60 °C; W3 = 4,0 m/s)

Tabla 66. Resumen del modelo de regresión lineal

(T3 = 60 °C; W3 = 4,0 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
1,000	1,000	.	.

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 67. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal (T3 = 60 °C; W3 = 4,0 m/s).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	5,578	1	5,578	.	.
Residual	0,000	0	.		
Total	5,578	1			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 68. Coeficientes de la ecuación lineal (T3 = 60 °C; W3 = 4,0 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,668	0,000	-1,000	.	.
(Constante)	14,650	0,000		.	.

La ecuación de la línea recta será de la forma: $y = -0,668x + 14,650$

Siendo: y = humedad residual; x = tiempo.

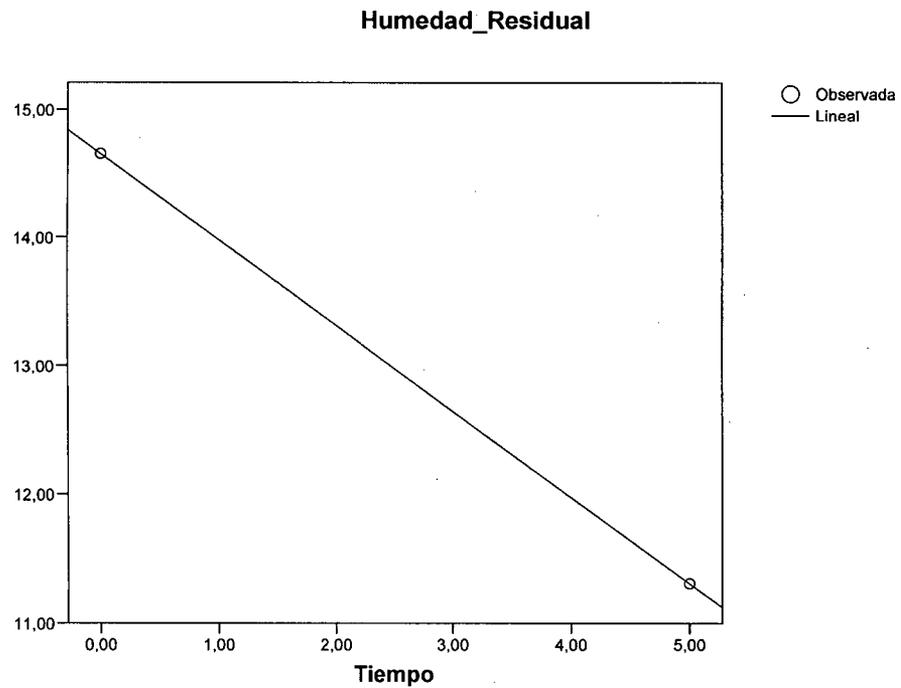


Figura 36. Representación de los datos experimentales (○) y de la línea recta (-) generada por el SPSS. (T3 = 60 °C; W3 = 4,0 m/s).

Análisis de regresión exponencial con SPSS (T3 =60 °C; W3 = 4,0 m/s)

Tabla 69. Resumen del modelo de regresión exponencial (T3 = 60 °C; W3 = 4,0 m/s).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,998	0,997	0,997	0,081

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 70. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión exponencial (T3 = 60 °C; W3 = 4,0 m/s).

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	21,592	1	21,592	3290,161	0,000
Residual	0,066	10	0,007		
Total	21,657	11			

La variable independiente es Tiempo.

Tabla 71. Coeficientes de la ecuación exponencial (T3 = 60 °C; W3 = 4,0 m/s).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Tiempo	-0,078	0,001	-0,998	-57,360	0,000
(Constante)	19,912	1,114		17,879	0,000

La variable dependiente es $\ln(\text{Humedad_Residual})$.

La ecuación de la curva exponencial será de la forma: $y = 19,912e^{(-0,078x)}$

Siendo: y = humedad residual; x = tiempo.

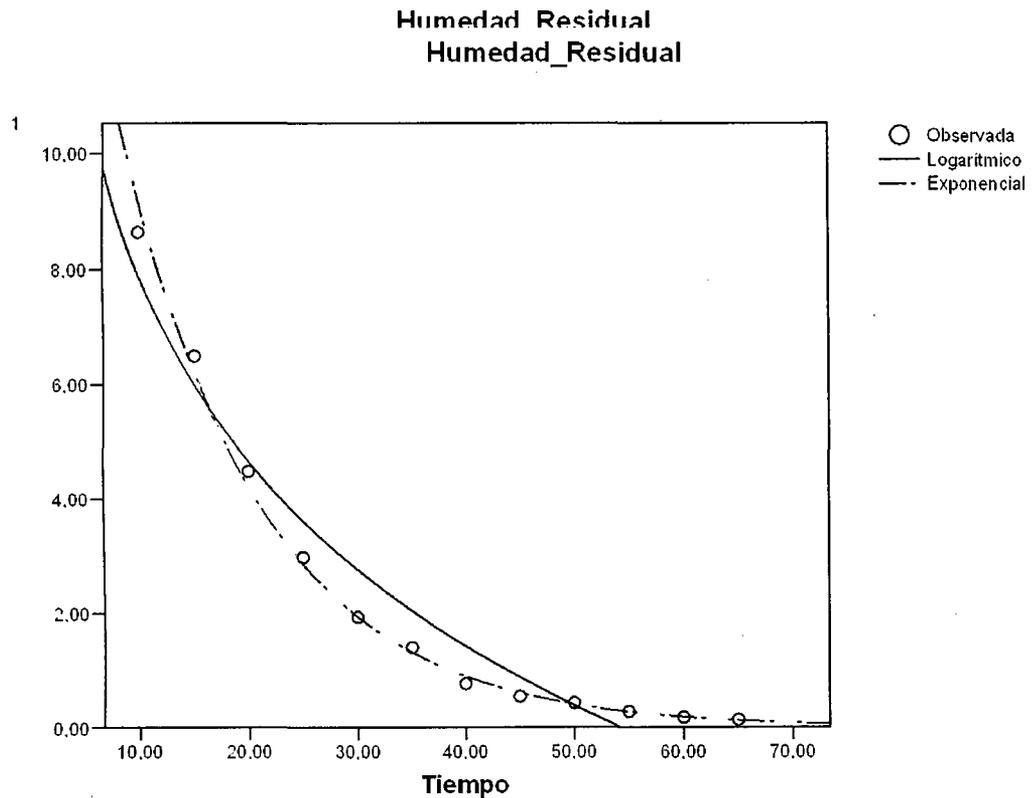


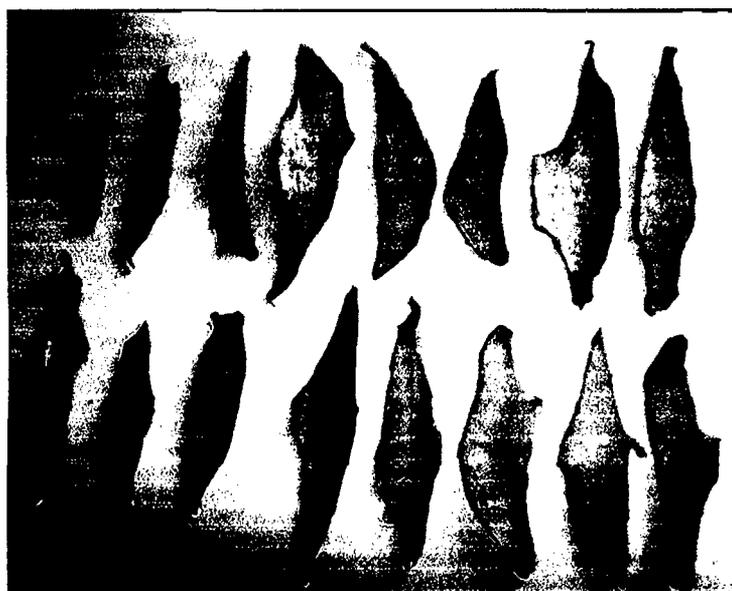
Figura 37. Representación de los datos experimentales (○), de la curva logarítmica (-) y de la curva exponencial (-.-) generada por el SPSS. La curva exponencial es la más representativa. (T3 = 60 °C; W3 = 4,0 m/s).

ANEXO 6

Color del hongo *Suillus luteus* seco



Fotografía 6. Rodajas de hongo *Suillus luteus* secados a 45 y 50°C



Fotografía 7. Rodajas de hongo *Suillus luteus* secado a 60°C y 3m/s.

ANEXO 7

Caracterización del producto final y control de calidad

- **Determinación de proteínas**

$$= 100 \left[\frac{0.014(V * N)}{W} \right]$$

Donde:

N: contenido de nitrógeno= 0.25N

V: volumen=7.1ml

W: peso de muestra= 1g

$$\%N = 100 \left[\frac{0.014(7.1 * 0.25)}{1} \right] = 2.485$$

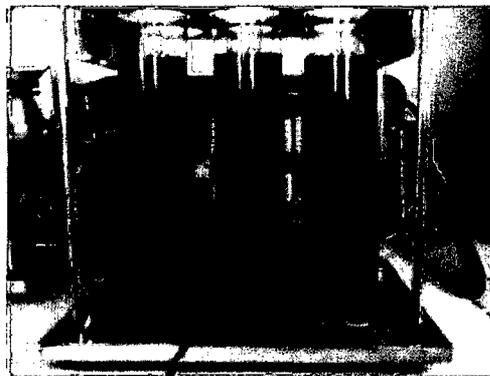
El porcentaje de proteína se calculará mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ proteína} = \% N * f$$

Donde:

f: Factor para cada alimento= 6.25

$$\% \text{ proteína} = 2.485 \times 6.25 = 15.53$$



Fotografía 5. Análisis de proteína del hongo seco

- **Determinación de cenizas**

Muestra = 2g

Peso de crisol (W1) = 15.38g

Peso de la muestra en crisol (W2) = 17.38g

Peso de crisol y ceniza (W3) = 15.49g

$$\% \text{Ceniza} = 100 \left[\frac{W3 - W1}{W2 - W1} \right]$$

$$= 100 \left[\frac{15.49 - 15.38}{17.38 - 15.38} \right]$$

$$= 100 \left[\frac{0.11}{2} \right]$$

$$= 100(0.055)$$

$$\% \text{ Ceniza} = 5.5$$

ANEXO 8

NORMA DEL CODEX PARA LOS HONGOS COMESTIBLES DESECADOS 1

CODEX STAN 39-1981

1. AMBITO DE APLICACION

Esta norma se aplica a los hongos desecados (incluso los hongos liofilizados), enteros o en lonjas, de todas las especies comestibles, elaborados y envasados.2

2. DESCRIPCION

2.1 Definiciones de los productos

2.1.1 Se entiende por hongos enteros desecados el producto obtenido de hongos comestibles limpiados y desecados. Podrán acortarse sus pies.

2.1.2 Sombreretes enteros sin pies.

2.1.3 Se entiende por hongos en lonjas desecados el producto obtenido de hongos comestibles enteros cortados y desecados, de los cuales cada lonja tenga un espesor de 1 a 4 mm.

2.1.4 Otras formas de presentación

Se permitirá cualquier otra forma de presentación del producto a condición de que:

- a) se distinga suficientemente de las otras formas de presentación establecidas en esta norma;
- b) reúna todos los demás requisitos de esta norma, incluidos los correspondientes a las tolerancias para defectos, peso escurrido, y cualquier otro requisito de esta norma que sea aplicable a la forma de presentación estipulada en la norma que más se acerque a la forma o formas de presentación que han de estipularse en el ámbito de la presente disposición;

c) esté descrita debidamente en la etiqueta para evitar errores o confusión por parte del consumidor.

2.2. Definiciones de los defectos

2.2.1 Se entiende por **hongos dañados** los hongos a los que les falta más de 1/4 del sombrerete o en caso de hongos en lonjas, aquéllos a los que les falta más de 1/3 de la superficie total de la lonja.

2.2.2 Se entiende por **hongos carbonizados** los hongos enteros o en lonjas con vestigios de carbonización en su superficie.

2.2.3 Se entiende por **hongos dañados por larvas** los hongos que tienen agujeros producidos por larvas.

2.2.4 Se entiende por **hongos gravemente dañados por larvas** los hongos que tienen cuatro o más agujeros producidos por larvas.

2.2.5 Se entiende por **hongos aplastados** las partes de hongos que pasan por un tamiz de malla de 5 x 5 mm.

1 Anteriormente CAC/RS 39-1970.

2 Esta norma comprende también los hongos desecados Shii-ta-ke.

2.2.6 Se entiende por **pies desprendidos** los pies separados de los sombreretes.

2.2.7 Se entiende por **impurezas orgánicas de origen vegetal** la presencia de otros hongos comestibles, partes de plantas tales como hojas, agujas de pino, etc.

2.2.8 Se entiende por **impurezas minerales** las sustancias que después de extraídas las cenizas quedan como residuos insolubles en ácido clorhídrico.

2.3 Especies principales

Todos los hongos comestibles cuya venta esté permitida por las autoridades competentes de los países consumidores.

3. FACTORES ESENCIALES DE CALIDAD

3.1 Materia prima

La materia prima utilizada para la elaboración de hongos comestibles desecados deberá satisfacer los requisitos generales establecidos en la Norma General para los Hongos Comestibles y sus Productos (CODEX STAN 38-1981).

3.2 Producto final

3.2.1 Los hongos comestibles desecados deberán estar sanos, es decir, no echados a perder; tener el color, olor y sabor propios de su especie; estar limpios, es decir, exentos de impurezas orgánicas y minerales; estar exentos en lo posible de daños causados por larvas y por insectos; estar indemnes.

3.2.2 Los hongos comestibles desecados deberán estar desecados adecuadamente según se indica a continuación:

Producto Contenido máximo de agua

Hongos liofilizados 6% m/m

Hongos desecados (otros hongos desecados no liofilizados) 12% m/m

Hongos desecados Shii-ta-ke 13% m/m

3.3 Tolerancias para los defectos

3.3.1 Se permite un máximo de 25% m/m de hongos que no satisfagan los requisitos del producto final enumerados en la subsección 3.2.1.

3.3.2 Dentro de la tolerancia permitida en la subsección 3.2.1, se aplicarán las siguientes tolerancias individuales:

Defectos Tolerancias

Impurezas minerales no más de 2% m/m

Impurezas orgánicas no más de 0,02% m/m, excepto para los hongos de origen vegetal Shii-ta-ke para los cuales la máxima será de 1% m/m

Hongos dañados por larvas:

hongos silvestres no más de 20% m/m de daño total, incluyendo daño serio

hongos cultivados no más de 1% m/m de daño total, incluyendo no más de 0,5% m/m de daño serio

Defectos Tolerancias

Hongos aplastados no más de 6% m/m

Hongos carbonizados no más de 2% m/m

Hongos dañados no más de 20% m/m

El número de pies desprendidos deberá ser igual al de los sombreretes, esto es, 1:1.

4. HIGIENE

4.1 Se recomienda que el producto comprendido en esta norma se prepare y manipule de conformidad con las secciones correspondientes del Código Internacional Recomendado de Prácticas - Principios Generales de Higiene de los Alimentos (CAC/RCP 1-1969, Rev. 2 (1985), Volumen 1 del Codex Alimentarius), y con los demás Códigos de Prácticas recomendados por la Comisión del Codex Alimentarius que sean aplicables para este producto.

4.2 En la medida compatible con las buenas prácticas de fabricación, el producto estará exento de materias objetables.

4.3 Analizado con métodos adecuados de muestreo y examen, el producto:

- deberá estar exento de microorganismos en cantidades que puedan constituir un peligro para la salud;
- deberá estar exento de parásitos que puedan representar un peligro para la salud; y
- no deberá contener, en cantidades que puedan representar un peligro para la salud, ninguna sustancia originada por microorganismos.

5. ENVASADO Y PRESENTACION

5.1 Uniformidad

Los envases de una misma partida (cajas de madera o cartón y sacos de polietileno) deberán contener cada uno hongos del mismo tipo comercial y tener un peso neto uniforme.

5.2 Envasado

Las cajas de cartón, de madera y los sacos deberán asegurar una protección adecuada contra la humedad durante el almacenamiento y transporte del producto. Cualquier papel u otro material que se utilice en el interior del envase deberá ser nuevo, impermeable e inocuo para la salud del consumidor. Los hongos no deberán entrar en contacto con las inscripciones impresas en el envase.

5.3 Los hongos se envasan sueltos en las unidades de envase.

6. ETIQUETADO

Además de los requisitos que figuran en la Norma General del Codex para el Etiquetado de los Alimentos Preenvasados (CODEX STAN 1-1985 (Rev. 1-1991), Volumen 1 del Codex Alimentarius), se aplicarán las siguientes disposiciones específicas:

6.1 Nombre del producto

Los productos que respondan a las definiciones y satisfagan los requisitos de esta norma deberán designarse de tal forma que especifiquen:

6.1.1 El nombre común y el nombre científico de la especie de hongos utilizada, aunque las palabras "hongo" y "hongos" podrán sustituirse por la designación comúnmente utilizada para describir el género o la especie correspondiente en el país en que haya de venderse el producto, por ejemplo "hongo" u "hongos" para los del género *Agaricus*.

6.1.2 El tipo del producto: "hongos desecados" u "hongos liofilizados".

6.1.3 La forma de presentación: "enteros", "sombretetes" o "en lonjas".

6.1.4 Si el producto se presenta de conformidad con las disposiciones previstas para las otras formas de presentación (subsección 2.1.4), la etiqueta deberá contener muy cerca del nombre del producto, las palabras o frases necesarias para evitar error o confusión por parte del consumidor.